Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Leiter: Professor Dr. Dr. P. Riethe
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. E. Fröhlich

Untersuchungen über die Entstehung von Quecksilberdampf bei der Zubereitung von Kupferamalgam und dessen Reduzierung im Arbeitsraum

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von
Fritz Jenatschke
aus Leitmeritz/Sud.

- 1970 -

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung
Leiter: Professor Dr. Dr. P. Riethe
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. Dr. E. Fröhlich

Untersuchungen über die Entstehung von Quecksilberdampf bei der Zubereitung von Kupferamalgam und dessen Reduzierung im Arbeitsraum

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von
Fritz Jenatschke
aus Leitmeritz/Sud.

- 1970 -

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. J. Hirschmann

Berichterstatter: Professor Dr. Dr. P. Riethe

M e i n e n E l t e r n

i n D a n k b a r k e i t

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Seite

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG 5

II. MESSAPPARATUR UND METHODIK

1. Das Meßgerät 10
2. Das Meßprinzip 13
3. Die Inbetriebnahme des Gerätes 15
4. Die Eichung des Gerätes 18
5. Meßgenauigkeit 20
6. Mögliche Fehlerquellen 21

III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

A. Die Zubereitung von Kupferamalgam in Einzelphasen 24

1. Versuchsanordnung und Versuchsbedingungen 24
2. Die Durchführung der Versuche 26
3. Ergebnisse 30

a) Öffnen des Kupferamalgam-Behälters 30

b) Erhitzen der Kupferamalgam-Plättchen 31

c) Triturieren von erhitztem Kupferamalgam mittels Mörser und Pistill 39

d) Kneten von trituriertem Kupferamalgam und anschließendes Auspressen 40

4. Diskussion und Zusammenfassung der Meßergebnisse 47

B. Die Zubereitung von Kupferamalgam bis zum gebrauchsfertigen Amalgam in einem Arbeitsgang 55

1. Die Zubereitung von Kupferamalgam ohne Zusatzeinrichtung 55

a) Die Durchführung der Versuche 55

b) Ergebnisse 57

2. Maßnahmen zur Senkung der Quecksilberdampf-Konzentration im Behandlungsraum 63

a) Zubereitung von Kupferamalgam in einem Hohlwürfel der Kantenlänge 40 cm unter Verwendung verschiedener Absaugeanlagen 64

aa) Ergebnisse bei einer Saugleistung von 5 000 l/min. 67

bb) Ergebnisse bei einer Saugleistung von 480 l/min. 71

cc) Ergebnisse bei Saugleistungen von 55 l/min. und 8 l/min. 76

b) Zubereitung von Kupferamalgam in einem Digestorium eines klinisch wissenschaftlichen Labors 77

c) Zusammenfassung 78

IV. DISKUSSION 80

V. ZUSAMMENFASSUNG 87

VI. LITERATURVERZEICHNIS 91

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Als häufigstes Füllungsmaterial werden in der zahnärztlichen Praxis nach wie vor die Amalgame verwendet.

Wir kennen Silber- und Kupferamalgame. Hierbei finden sich Rezepte für die Zubereitung von Kupferamalgam bereits im Mittelalter (L.-J. Baume [1958], K. Helbig [1960], P. Riethe [1966]).

Während sich das Siberamalgam, auch als Edelamalgam bezeichnet, gegen alle Anfechtungen, insbesondere in den 20er Jahren durch den Chemiker A. Stock (1926, 1928 und 1939) durchzusetzen vermochte, ist die Verwendung von Kupferamalgam seither umstritten. Gegner (F.W. Böcker und R. Marxkors [1965], H. Einfeldt [1966], E. Harndt [1930], W. Ketterl [1966], O. Loebich [1955], O. Walkhoff und W. Hess [1960], E. Wannenmacher [1963]) und Fürsprecher (K.O. Frykholm [1957], H. Greth [1938], K. Helbig [1960], W. Pilz [1967], H.F. Overdiek [1966], H.H. Rebel [1947], H. Schach [1965]) halten sich die Waage.

Kupferamalgam wird heute in der Hauptsache als Milchzahn-Füllungsmaterial empfohlen (K.O. Frykholm [1957], K. Helbig [1960], P.J. Hallowag, I.N. Swallow und

G.L. Slack [1969], W. Keßler [1953], H.F. Overdiek [1966], W. Pilz [1967], H. Schach [1965]). Es ist ein binäres Amalgam, sofern es nur Quecksilber und Kupfer enthält (.H. Greth [1938], H.H. Rebel [1947], R. Vogel [1955]). Hierbei liegt das prozentuale Verhältnis bei 62 - 72 % Quecksilber und 28 - 38 % Kupfer. Nach seiner Aushärtung besteht es aus zwei verschiedenen Kristallarten, dem unedleren Kupfer-Quecksilber-Mischkristall und einer CuHg-Verbindung (F. Schönbeck [1942], R. Vogel [1955]).

Ein ternäres Kupferamalgam liegt vor, wenn noch geringe Mengen Zinn - bis zu 5 % - beigefügt sind (H. Greth [1938], O. Loebich [1949], R. Vogel [1955]). Bei manchen Fabrikaten, wie etwa dem von uns verwendeten Cupro-Muc, sind noch besondere fabrikgeheime Substanzen (z.B. "Trionium") beigemengt.

Aus dem Mischkristall wird durch langsam fortschreitende Korrosion des Kupferamalgams im Munde sowohl Quecksilber frei (P. Borinski [1929], K.O. Frykholm [1957], H. Greth [1938], W. Kühl [1963], E.J. Mayer [1927], H.H. Rebel [1947], F. Schönbeck [1942]), als auch Kupferionen (K.-H. Fuchs [1958], H. Greth [1938], K. Helbig [1960], O. Loebich [1955], H. Schach [1965], F. Schönbeck [1942]).

Die V o r t e i l e des Füllungsmaterials liegen gerade auf dieser letztgenannten Eigenschaft (G. Black [1895], K.O. Frykholm [1957], H. Greth [1938], K. Helbig [1954 und 1960], A. Kantorowicz [1924], A. Knappwost [1953], H.-J. Merk [1960], H.H. Rebel [1947], H. Schach [1965], O. Walkhoff und W. Hess [1960]).
Zu erwähnen sind vor allem: Optimale Wandständigkeit, guter Randschluß, antiseptische und bakterizide, also oligodynamische Wirkung, wodurch eine Sekundärkaries wirksam verhindert wird.

Als N a c h t e i l e führen die Gegner des Kupferamalgams folgende Eigenschaften auf:

1. Die bereits erwähnte Abgabe von Quecksilber- und Kupferionen aus alten wie aus frisch gelegten Füllungen (P. Borinski [1929], K.O. Frykholm [1957], H. Greth [1938], I. Keibel [1959], W. Kühl [1963], A. Maumayr [1926], H.H. Rebel [1947], H. Schach [1965], F. Schönbeck [1942], O. Walkhoff und W. Hess [1960]).

2. Die durch die Bildung von Quecksilber- und Kupfersalzen bedingte Verfärbung der Zahnhartsubstanz (.L.H. Holländer [1878], C. Jung [1905] , O. Loebich [1949], H.H. Rebel [1947], O. Walkhoff und W. Hess [1960], A. Witzel [1899]).

3. Das Freiwerden von Quecksilberdampf aus den im Munde gelegten Füllungen (U. Duisberg [1967], H. Greth [1938], W. Kühl [1966], E.J. Mayer [1927], W. Schmidt [1956], W. Sounder und W.T. Sweeny [1931], J. Uschatz [1952], A. Witzel [1899]).

4. Die Entstehung von großen Quecksilberdampfmengen bei der Zubereitung und Verarbeitung von Kupferamalgam bis zum gebrauchsfertigen, plastischen Füllungswerkstoff auf die bisher übliche Art und Weise (W. Binzegger [1928], F.W. Böcker und R. Marxkors [1965], M.Jarecki [1926], W. Ketterl und K. Lamprecht [1964], A. Kröncke, H.-J. Gülzow und R. Mayer [1963], R. Kropp [1963 und 1964], A. Stock [1926]).

Während die Gefährdung des Patienten durch das Freiwerden sowohl von Kupfer- als auch von Quecksilberionen aus Kupferamalgam-Füllungen noch umstritten ist, so bleibt die Entstehung von Quecksilberdämpfen bei der Zubereitung von Kupferamalgam eine ernstzunehmende Tatsache.

Die Entstehung dieser Quecksilberdämpfe war daher in der Vergangenheit auch immer wieder Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (W. Binzegger [1928], F.W. Böcker und R. Marxkors [1965], K.O. Frykholm [1957], W. Ketterl und K. Lamprecht [1964], A. Kröncke, H.-J. Gülzow und R. Mayer [1963], R. Kropp [1963 und 1964]).

Es wurden hierbei stets die Quecksilberdampf-Konzentrationen gemessen, die während der g e s a m t e n Zubereitung von Kupferamalgam in der zahnärztlichen Praxis entstehen.

In der vorliegenden Arbeit haben wir nicht nur die Entstehung von Quecksilberdämpfen während der gesamten Zubereitung von Kupferamalgam überprüft, sondern wir haben insbesondere diesen Arbeitsgang in Einzelphasen aufgeteilt und untersucht. Hierbei schien es uns interessant zu erfahren, wann und in welcher Höhe Quecksilberdämpfe bei den unterschiedlichen Zubereitungsphasen entstehen. Darüberhinaus haben wir nach Möglichkeiten geforscht, die Entstehung von Quecksilberdämpfen zu verhindern oder doch auf ein Mindestmaß zu reduzieren, damit vor allem eine Gefährdung des Zahnarztes und dessen Personals bei der Zubereitung von Kupferamalgam ausgeschaltet wird.

II. MESSAPPARATUR UND METHODIK

1. Das Meßgerät

Für unsere Messungen stand uns das Beckman-Mercury-Vapor-Meter, Modell K 23 zur Verfügung[+]. Das Instrument dient zur Bestimmung des Quecksilberdampf-Gehaltes in freier Atmosphäre (siehe Abb. 1). Es handelt sich dabei um ein tragbares, 11 cm breites, 18 cm hohes und 33 cm langes UV-Photometer, das in der Hauptsache besteht aus:

a) Dem Oberteil (O) und dem Tragegriff (T),
der Meßskala (Sk, siehe Abb. 2),
den Bedienungsknöpfen und
der elektronischen Verstärkeranlage im Innern.

b) Dem vorderen Teil (V) mit dem Kabelanschluß (K),
dem Startknopf (St) zum Einschalten des Gerätes,
der Photozellen-Gleichgewichtskontrolle (Ph) und
der Quecksilberdampflampe, der Vergleichsphotozelle
und einem UV-Filter im Innern des Gerätes.

c) Dem hinteren Teil (H) mit der Meßphotozelle und
einem UV-Filter.

d) Dem Schutzgitter (Sch) zwischen (V) und (H), das
den eigentlichen Meßraum umschließt.

Das Gerät arbeitet mit einer Betriebsspannung von 115 Volt bei 50 - 60 Hz Wechselstrom. Seine Leistung beträgt 15 Watt.

+ Das Gerät wurde uns freundlicherweise von der Firma Degussa, Pforzheim, zur Verfügung gestellt. Wir möchten hierfür an dieser Stelle ganz herzlich danken.

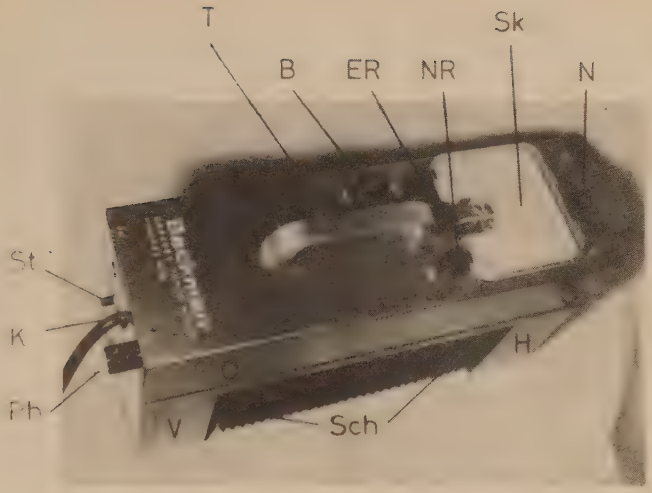

Abb. 1: Das Beckman-Gerät

T = Tragegriff
Sk = Meßskala mit 2 Meßbereichen
N = Normenwahlschalter mit den Stellungen "UPPER", "LOWER" und "TEST"
B = Bereichswahlschalter mit den Stellungen "UPPER" und "LOWER", der zum Einstellen des Meßbereiches dient
ER = Empfindlichkeitsregler
NR = Nullpunktregler
N, ER und NR dienen zur Eichung des Gerätes
K = Kabelanschluß
St = Startknopf zum Einschalten des Gerätes
Ph = Schraubenmutter für die Einstellung des Photozellengleichgewichts

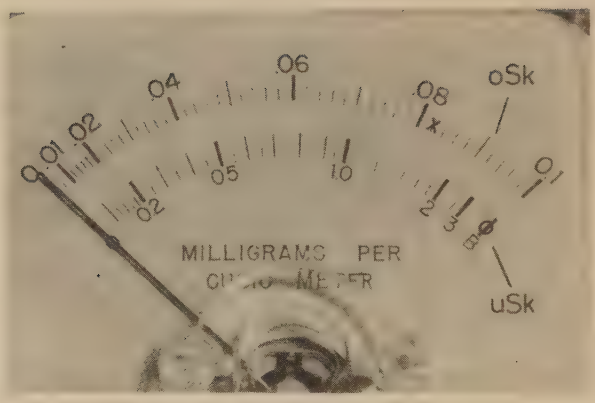

Abb. 2: Das Anzeigeinstrument

Z = Zeiger
oSk = obere Skala "UPPER"
x = 0,082 mg Hg/m^3 Luft, auf der oberen Skala gelegen, wichtig zur Eichung des Instrumentes auf den Meßbereich von 0,005 - 0,1 mg Hg/m^3 Luft
uSk = untere Skala "LOWER"
ϕ = B, auf der unteren Skala gelegen, wichtig zur Eichung des Instrumentes auf den Meßbereich von 0,03 - 3,0 mg Hg/m^3 Luft

2. Das Meßprinzip

Die Quecksilberdampf-Messung durch das Gerät geschieht nach dem optischen Verfahren nach R.W. Wood (1919): Der anfallende Quecksilberdampf wird im Licht seiner Resonanzlinie, die bei 253,7 μm liegt, sichtbar gemacht, d.h. der vorhandene Quecksilberdampf absorbiert das von der Quecksilberdampflampe ausgehende ultraviolette Licht seiner eigenen Resonanzlinie von 253,7 μm. Die Stärke der Absorption ist abhängig von der vorhandenen Quecksilberdampf-Konzentration.

Dieses Arbeitsprinzip ist in dem Beckman-Gerät folgendermaßen verwirklicht (siehe Abb. 3): Von einer Quecksilberdampflampe, die sich im hinteren Teil des Instrumentes befindet, wird ultraviolettes Licht der Wellenlänge 253,7 μm ausgestrahlt. Dieses Licht gelangt nun sowohl zu einer Vergleichsphotozelle, die sich direkt gegenüber der Lampe befindet, als auch - zuerst die zu untersuchende Luft zwischen den Schutzgittern durchtretend - zu einer am vorderen Ende des Gerätes liegenden Meßphotozelle.

In quecksilberdampffreier Atmosphäre besteht nun ein photoelektrisches Gleichgewicht zwischen den beiden Photozellen. Bringt man jedoch das Gerät in quecksilberdampfhaltige Luft, so wird ein Teil des von der Quecksilberdampflampe zu der Meßphotozelle gelangenden Lichts

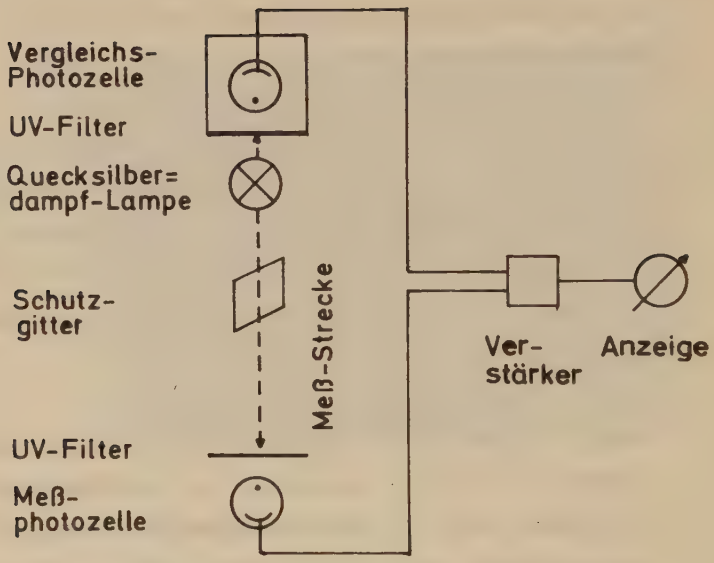

Abb. 3: Meßprinzip beim Beckman-Gerät

Das UV-Licht trifft von der Quecksilberdampf-lampe

a) unverändert auf die Vergleichsphotozelle und
b) in Abhängigkeit vom vorhandenen Quecksilber-dampf, abgeschwächt zur Meßphotozelle.

Die Störung des photoelektrischen Gleichgewichts wird elektronisch verstärkt und vom Instrument angezeigt.

absorbiert und damit das photoelektrische Gleichgewicht gestört. Die sich daraus ergebende Veränderung wird vom Instrument aufgenommen, verstärkt und auf der Skala angezeigt.

Um auf die Photozellen möglichst nur Licht der Wellenlänge 253,7 µm einfallen zu lassen, sind vor jeder Photozelle spezielle UV-Filter angebracht, die Licht anderer Wellenlängen zurückhalten.

3. Die Inbetriebnahme des Gerätes:

Bei Inbetriebnahme des Gerätes sollen Empfindlichkeits- und Nullpunktregler ganz gegen den Uhrzeigersinn zurückgedreht werden. Das Gerät wird eingeschaltet, indem man den Startknopf 2 - 5 Sekunden durchdrückt; ein konstantes blaues Glimmen zeigt korrektes Arbeiten der Lampe an. Flackert die Lampe, so spricht dies für eine ungenügende Erdung des Gehäuses.

Vor Beginn der Messungen und der nachfolgend beschriebenen Tests, insbesonders nach einem Transport oder einer Übersteuerung des Geräts, muß es sich während einer 20-minütigen Anheizzeit stabilisieren. Wird die Anheizzeit zu kurz bemessen, so konnte nach unseren Erfahrungen weder eine exakte Eichung der Gerätes erfolgen, noch lassen sich korrekte Messungen registrieren.

Nach der Stabilisation wird, falls notwendig, das Photozellengleichgewicht eingestellt und das Gerät auf die jeweilige Meßskala geeicht.

a) Die Einstellung des Photozellengleichgewichts

Dieser Arbeitsgang dient zur Herstellung eines photoelektrischen Gleichgewichts zwischen Vergleichs- und Meßphotozelle. Es wurde von uns vor jedem Versuch überprüft und, wenn erforderlich, neu eingestellt:

In einer quecksilberdampffreien Atmosphäre wird der Normenwahlschalter auf "TEST" und der Bereichswahlschalter auf "UPPER" gestellt. Dann wird der Empfindlichkeitsregler im Uhrzeigersinn so weit aufgedreht, bis der Zeiger des Meßinstrumentes auf der oberen Skala 0,06 mg Hg/m^3 Luft erreicht hat, oder bis zum Anschlag völlig aufgedreht ist. Der Nullpunktregler wird in seiner Stellung belassen. Mit dem dafür vorgesehenen Schraubenschlüssel dreht man dann langsam die Photozellen-Gleichgewichts-Kontrolle, die sich an der Vorderseite des Gerätes befindet, bis der Meßzeiger gerade unter dem Nullpunkt steht. Die beiden letzten Schritte sind so oft zu wiederholen, bis der Empfindlichkeitsregler ganz im Uhrzeigersinn aufgedreht ist und der Zeiger gerade 0,0 mg Hg/m^3 Luft anzeigt.

b) Der Test der Quecksilberdampflampe

Die volle und korrekte Funktionsfähigkeit der Lampe muß durch einen weiteren Test überprüft werden:

Dazu stellt man - bei vorher eingestelltem Photozellgengleichgewicht - den Normenwahlschalter (N) auf "TEST", den Bereichswahlschalter (B) auf "LOWER" und dreht den Empfindlichkeitsregler (ER) ganz gegen den Uhrzeigersinn. Sodann hält man das von der Quecksilberdampflampe ausgestrahlte Licht durch einen lichtundurchlässigen Karton von der Meßphotozelle ab und fixiert mit Hilfe des Nullpunktreglers (NR) den Meßzeiger bei 0,082 mg Hg/m^3 Luft auf der oberen Skala. Stellt man anschließend den Normenwahlschalter auf "LOWER" und entfernt den Karton aus dem Strahlengang, so sollte das Meßinstrument zwischen 0,075 mg Hg/m^3 und 0,079 mg Hg/m^3 Luft auf der oberen Skala anzeigen. Ist dies nicht der Fall, so muß die Quecksilberdampflampe erneuert werden.

Mit diesem Test wurden die einzelnen Versuchsreihen regelmäßig überprüft.

4. Die Eichung des Gerätes

Die Eichung des Gerätes ist erst möglich nach Ablauf der wichtigen, ca. 20 Minuten dauernden Anheizzeit, nach Einstellung des Photozellengleichgewichts und bei zugleich korrekt arbeitender Quecksilberdampflampe. Sie ist für die beiden Meßbereiche (= obere "UPPER" und untere "LOWER" Skala) verschieden:

a) Eichung für den Meßbereich von 0,005 - 0,1 mg Hg/m^3 Luft
(Obere Skala "UPPER" - siehe Abb. 2)

In quecksilberdampffreier Atmosphäre wird der Normenwahlschalter auf "TEST", der Bereichswahlschalter auf "UPPER" gestellt und der Empfindlichkeitsregler halb aufgedreht. Der entstehende Zeigerausschlag wird mit Hilfe des Nullpunktreglers wieder auf Null zurückgedreht. Ist dies nicht möglich, d.h. fällt das Instrument ab, sobald man den Nullpunktregler im Uhrzeigersinn dreht, oder geht es hoch, wenn man den Knopf gegen den Uhrzeigersinn dreht, so muß das Photozellengleichgewicht neu eingestellt werden. Hat man den Meßzeiger auf Null eingestellt, so dreht man den Normenwahlschalter auf "UPPER" und stellt mit Hilfe des Empfindlichkeitsreglers den Zeiger auf 0,082 mg Hg/m^3 Luft auf der oberen Skala ein. Die drei letzten Schritte sind so oft zu wiederholen, bis keine weitere Berichtigung mehr erforderlich ist, d.h. bis der Zeiger beim

Umschalten des Normenwahlschalters von "TEST" auf "UPPER" von 0,0 mg Hg/m^3 Luft auf genau 0,082 mg Hg/m^3 Luft auf der oberen Skala ansteigt. Zur Messung stellt man den Normenwahlschalter auf "TEST" und bringt das Instrument ohne es auszuschalten in die zu messende Atmosphäre. Der Quecksilberdampfgehalt der Luft kann direkt auf der oberen Skala abgelesen werden.

b) Eichung für den Meßbereich von 0,03 - 3,0 mg Hg/m^3 Luft (Untere Skala "LOWER" - siehe Abb. 2)

In einer quecksilberdampffreien Atmosphäre bringt man den Normenwahlschalter in die Stellung "TEST" und den Bereichswahlschalter in die Stellung "LOWER". Der Meßzeiger sollte dann nahe Null stehen. Dann dreht man den Normenwahlschalter auf "LOWER" und justiert das Instrument mit Hilfe des Empfindlichkeitsreglers auf "B" ein, das am Ende der unteren Skala steht. Damit ist das Gerät auf die untere Skala geeicht. Zur Messung stellt man den Normenwahlschalter wieder auf "TEST" und bringt das Gerät ohne es auszuschalten in die auf Quecksilberdampf zu untersuchende Luft. Die vorhandene Quecksilberdampf-Konzentration ist dann unmittelbar auf der unteren Skala abzulesen.

Da die Eichung des Gerätes in jedem Fall in quecksilberdampffreier Atmosphäre erfolgen muß und einige Zeit beansprucht, ist eine Umeichung von einem Meßbereich auf den anderen während eines laufenden Versuches nicht möglich.

5. Meßgenauigkeit (Fehlerquellen, Besonderheiten)

Wie beschrieben besitzt das Instrument zwei Meßbereiche: Die obere Skala zeigt Quecksilberdampf-Konzentrationen von 0,005 - 0,1 mg Hg/m^3 Luft an, also bis zu dem zur Zeit auch in Deutschland gültigen MAK-Wert, die untere Skala von 0,03 - 0,1 mg Hg/m^3 Luft. Die Ablesegenauigkeit beträgt dabei nach unseren Erfahrungen auf der oberen Skala $\pm$ 0,0005 mg Hg/m^3 Luft, auf der unteren $\pm$0,005 mg Hg/m^3 Luft. Die bei unseren Versuchen besonders zu Beginn der Messungen aber auch während ganzer Versuchsreihen vorherrschenden Konzentrationen unter 0,005 mg Hg/m^3 Luft wurden - obwohl außerhalb des Meßbereiches des Instrumentes - dennoch mitbestimmt und ausgewertet, um Vergleichswerte gegenüber anderen Meßreihen zu erhalten.

Die Meßgenauigkeit des Instrumentes beträgt nach Angaben des Herstellers $\pm$ 10 %.

6. Mögliche Fehlerquellen

Bei der praktischen Durchführung der Messungen müssen folgende mögliche Fehlerquellen beachtet und eliminiert werden:

a) Da das Gerät nach dem Absorptionsprinzip arbeitet, ruft jeder Dampf, der Licht der Wellenlänge 253,7 μm absorbiert, einen Ausschlag des Instrumentes hervor. Dieses Phänomen tritt besonders bei aromatischen Kohlenwasserstoffen, Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Ozon, Azeton und Wassernebel (Spray) und, wie wir feststellten, bei Zigarettenrauch auf. Bei der Durchführung der Versuche wurde deshalb sorgsam darauf geachtet, daß keiner der genannten Stoffe im Raum war.

b) Bei Bewegen des Instrumentes durch Licht wechselnder Intensität und durch Lichtreflektion von polierten Flächen entstehen ebenfalls kleine Schwankungen des Gerätes. Desnalb wurde das Gerät nicht in unmittelbarer Nähe von polierten Oberflächen stabilisiert.

c) Weiternin können Spannungsschwankungen des Netzstromes Schwankungen des Gerätes verursachen, wenn sie über 105 bis 125 Volt ninausgehen. Dies zeigt sich an einem fluktuierenden Null-Ausschlag des Zeigers. Solche Schwankungen konnten wir bei der Kontrolle des Nullpunktes vor dem Versuch allerdings nicht beobachten.

d) Eine langjährige Verschmutzung des Versuchsraumes und eine dadurch bedingte geringe Quecksilberdampf-Konzentration, die sich trotz intensiver Lüftung immer wieder auf einen konstanten Wert einstellte, kann ebenfalls zu einer Verfälschung der Meßergebnisse führen. Eine solche konstante Raumkonzentration war bei allen Versuchen der Kupferamalgam-Zubereitung vorhanden. Sie betrug 0,02 mg Hg/m^3 Luft. Um diese nicht völlig ausschaltbare Fehlerquelle zu berücksichtigen, haben wir diese praktisch konstante Konzentration als Ausgangswert für unsere Messungen genommen.

e) Durch ungenügende Lüftung des Versuchsraumes kann es bei weiteren Messungen zu einer Erhöhung der Konzentration kommen. Deshalb muß unbedingt nach jedem Versuch der Versuchsraum intensiv gelüftet werden.

f) Eine gewisse Abhängigkeit von der Raumtemperatur konnten wir beim Beckman-Gerät beobachten: In quecksilberdampffreier Atmosphäre zeigt das Instrument bei steigender Temperatur einen steigenden Zeigerausschlag und fällt ab bei fallender Temperatur, z.B. bei intensiver Lüftung des Versuchsraumes im Winter. Deshalb sollten alle Versuche in einem konstanten Temperaturbereich - in unserem Fall bei 20 - 24° C - durchgeführt

werden. Die in diesem Bereich auftretenden geringfügigen Nullpunktverschiebungen sind durch eine Nullpunktkorrektur ausgleichbar.

g) Vorhandene Luftzirkulation im Versuchsraum beeinflußt ebenfalls die gemessene Quecksilberdampf-Konzentration, wodurch z.T. relativ starke Schwankungen des Gerätes entstehen. Die auftretenden Luftströmungen haben ihre Ursache:

1. In der natürlichen Luftzirkulation,
2. im Atmen und Sprechen,
3. im Öffnen und Schließen von Türen und Fenstern.

Weiterhin dürfte der allgemeine Patientenverkehr und die Verwendung von Wasser- und Turbinen-Spray die Luftströmungen und damit die Schwankungen der Quecksilberdampf-Konzentration beeinflussen.

Alle diese möglichen Ursachen von Fehlerquellen sollten daher exakter Meßwerte wegen vermieden werden.

III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

A. Die Zubereitung von Kupferamalgam in Einzelphasen

1. Versuchsanordnung und Versuchsbedingungen

Die jeweiligen Quecksilberdampf-Messungen bei der Zubereitung von Kupferamalgam zu einem verarbeitungsfähigen Füllungsmaterial wurden in einem 4,40 x 3,75 m großen und 3,10 m hohen Raum durchgeführt, der zwei Fenster und eine Tür hat. Letztere blieb während der Versuche geschlossen.

Zu jeder Versuchsanordnung haben wir acht Meßreihen durchgeführt. Während eine Person die Versuche ausführte, las eine zweite alle 5 Sekunden die entstehenden Quecksilberdampf-Konzentrationen vom Meßgerät ab. Um unkontrollierbare Fehlerquellen, insbesondere durch Luftturbulenzen weitgehend auszuschalten, wurde während der Versuche nicht gesprochen und möglichst wenige Bewegungen gemacht.

Die zu dem jeweiligen Versuch benötigten Hilfsmittel und Gegenstände befanden sich auf einem Tischchen in einer Höhe von 100 cm über dem Fußboden. In einem Abstand von 50 cm über der Tischplatte war die Meßapparatur angebracht. Dies entspricht in etwa der durchschnittlichen

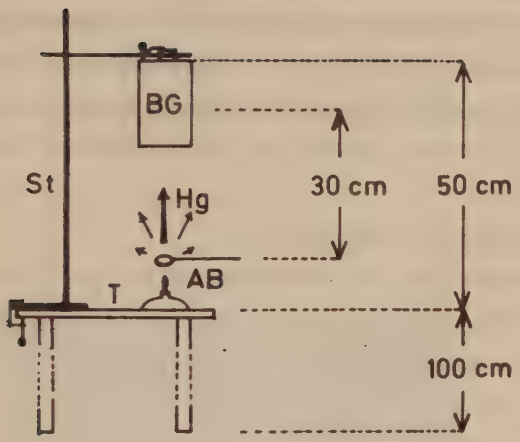

Abb. 4: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung am Beispiel vom Erhitzen des Kupferamalgams im offenen Löffel

St = Stativ
T = Tischchen
BG = Beckman-Gerät
AB = Arbeitsbereich
Hg = Ausbreitungsrichtung des Quecksilberdampfes

Gesichtshöhe einer zannärztlichen Helferin. Damit war ein Abstand von etwa 30 cm vom Arbeitsbereich bis zur Meßstrecke des Meßinstrumentes gegeben (siehe Abb. 4). Dieser Wert von 30 cm ergab sich aus Messungen, die wir im Rahmen der Tätigkeit am Patienten vornahmen, zwischen den Händen und dem Gesicht einer zahnärztlichen Helferin.

2. Die Durchführung der Versuche

Bei der Zubereitung von Kupferamalgam-Plättchen zum fertigen Amalgam sind nach den einzelnen Autoren mehrere Einzelarbeitsgänge zu unterscheiden (H. Greth [1938], K. Helbig [1960], H.H. Rebel [1947], L. Roese [1909], A. Witzel [1899]):
Das Erhitzen der Plättchen,
das Triturieren und schließlich
das Kneten des triturierten Kupferamalgams.

Bei unserer ersten Versuchsreihe sollte nun festgestellt werden:

1. Welche Quecksilberdampf-Konzentration bei diesen Einzelphasen auftreten (ohne sich summierende und überlagernde Raumkonzentration aus den vorausgegangenen Arbeitsgängen).
2. Ob überhaupt und wenn ja, in welchem Ausmaß Quecksilberdampf in den Zwischenphasen entsteht.
3. Welche Zubereitungsmethode für Kupferamalgam hinsichtlich der Quecksilberdampf-Entwicklung die günstigste ist.

Als Kupferamalgam stand uns dabei das von der Firma MERZ[+], Frankfurt, hergestellte und in Form von kleinen Plättchen vorliegende Kupferamalgam "Cupro-Muc" zur Verfügung (siehe Abb. 5), das einen geringen Zusatz Zinn und der fabrikgeheimen Substanz "Trionium" enthält.

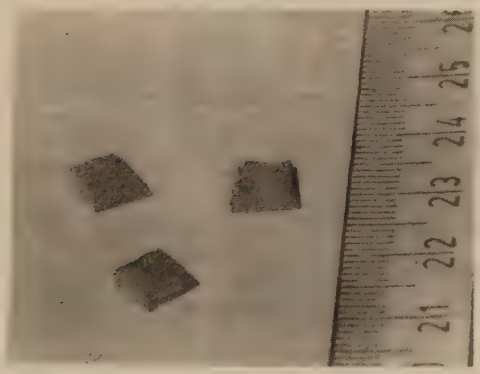

Abb. 5: Kupferamalgam-Plättchen

Die Kupferamalgam-Plättchen sind durchschnittlich 6 x 6 x 1,5 mm groß und wiegen im Mittel 0,65 g.

+ Das Kupferamalgam "Cupro-Muc" wurde uns von der Firma MERZ, Frankfurt, zur Verfügung gestellt, wofür wir herzlich danken.

Bei den einzelnen Meßreihen haben wir folgende Phasen unterschieden (siehe auch Abb. 6):

Phase 1: Öffnen des Kupferamalgam-Behälters und Entnahme der Rauten

Phase 2: Erhitzen der Kupferamalgam-Rauten
- aa) im offenen Löffel
- bb) im offenen Reagenzglas
- cc) im geschlossenen Reagenzglas

Phase 3: Triturieren des Kupferamalgams mit Mörser und Pistill

Phase 4: Kneten des triturierten Kupferamalgams und Auspressen
- aa) mit den bloßen Fingern
- bb) mit Gummifingerlingen
- cc) mit dem Amalgamknetgummi

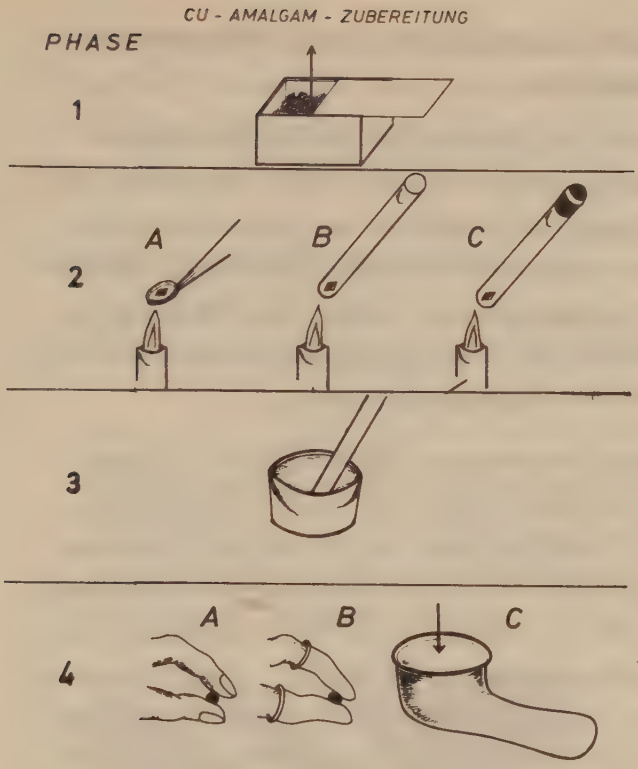

Abb. 6: Phasen der Kupferamalgam-Zubereitung

1 = Öffnen des Kupferamalgam-Behälters
2 = Erhitzen der Kupferamalgam-Plättchen im
A = offenen Löffel
B = offenen Reagenzglas
C = mit Gummikorken verschlossenen Reagenzglas
3 = Triturieren des erhitzten Amalgams mit Mörser und Pistill
4 = Kneten des triturierten Kupferamalgams
A = mit den bloßen Fingern
B = mit durch Gummifingerlinge geschützten Fingern
C = mit dem Amalgamknetgummi

3. Ergebnisse bei der Zubereitung von Kupferamalgam in Einzelphasen

Um von zufälligen Schwankungen der Quecksilberdampf-Konzentration weitgehend unabhängig zu sein, haben wir für die graphische Darstellung des Konzentrationsverlaufs die Ergebnisse zu einer Mittelwertskurve zusammengefaßt. Zum zahlenmäßigen Vergleich der Meßergebnisse der Versuchsreihen wurde die mittlere Konzentration jeweils einer Versuchsreihe errechnet.

Bei manchen Versuchsreihen entstand sowohl zu Beginn als auch teilweise während der gesamten Versuchszeit so wenig Quecksilberdampf, daß die geringen Ausschläge des Zeigers gar nicht in den Meßbereich des Instrumentes fallen, sondern nurmehr als Nullpunktschwankungen angesehen werden müssen (vergl. Seite 20). Die Kurven geben daher erst ab einer Quecksilberdampf-Konzentration von 0,005 mg Hg/m^3 Luft den exakten Konzentrationsverlauf wieder.

a) Öffnen des Kupferamalgam-Behälters

Bereits beim Öffnen des Behälters der Kupferamalgam-Plättchen konnten wir einen Ausschlag des Meßinstrumentes feststellen. Wir haben dazu das geschlossene Holzkästchen mit den Kupferamalgam-Plättchen auf das Tischchen unter das Meßinstrument gestellt, den Verschluß geöffnet und den Zeigerausschlag beobachtet.

Hierbei steigt die Quecksilberdampf-Konzentration nach etwa 20 Sekunden plötzlich von 0,0 mg Hg/m^3 Luft bis zu einem Maximum von 0,002 mg Hg/m^3 Luft an, fällt dann ebenso rasch wieder auf den Ausgangswert ab.

b) Erhitzen der Kupferamalgam-Plättchen

aa) Im offenen Löffel mittels Spiritusbrenner:

Hilfsmittel: Spiritusbrenner,
langstieliger Löffel,
Wasserglas.

Die Kupferamalgam-Plättchen wurden entsprechend den Angaben von H.H. Rebel (1947) über der Flamme so lange erhitzt, bis auf den Plättchen gleichmäßig Quecksilberperlen erschienen (siehe Abb. 7).

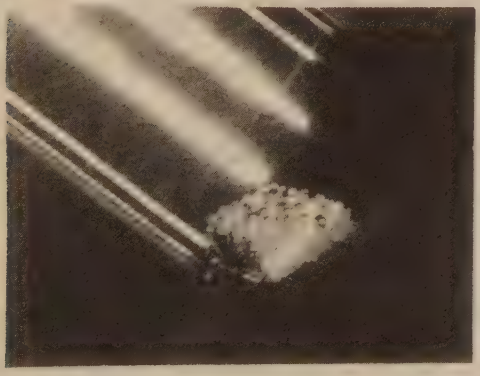

Abb. 7: Allseitig von Quecksilberperlen umgebenes Kupferamalgam-Plättchen nach dem Erhitzen am Boden eines Reagenzglases

In diesem Zustand haben die Plättchen die richtige Plastizität, um im Mörser zerrieben werden zu können. Anschließend kamen sie, um weitere Quecksilberdampf-Entwicklung zu verhindern, unter Wasser und die Flamme wurde gelöscht. Die Zeitspanne von Beginn des Erhitzens bis zum Erscheinen der Quecksilberperlen war nicht ganz konstant. Sie schwankte in Abhängigkeit von der Stärke der Spiritusflamme und vor allem von der Anzahl der erhitzten Plättchen zwischen 20 und 25 Sekunden. Deshalb haben wir in der Graphik den Zeitpunkt, bei dem die Plättchen allseits von Quecksilberperlen umgeben waren, als Zeit "Null" gewählt, so daß Vergleiche zwischen den einzelnen Meßreihen möglich sind.

Die Kurven (vergl. Schaubild 1) zeigen einen steilen Anstieg, der ungefähr 10 Sekunden vor dem Erscheinen der Perlen beginnt und 5 Sekunden danach sein Maximum erreicht hat. Dieses liegt beim Erhitzen von
1 Plättchen bei 1,06 $\pm$ 0,10 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen bei 1,21 $\pm$ 0,12 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen bei 1,60 $\pm$ 0,10 mg Hg/m^3 Luft.

Die mittlere Quecksilberdampf-Konzentration während der Meßdauer von 1 Minute liegt dabei bei der Verarbeitung von
1 Plättchen bei 0,203 $\pm$ 0,020 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen bei 0,255 $\pm$ 0,017 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen bei 0,330 $\pm$ 0,023 mg Hg/m^3 Luft.

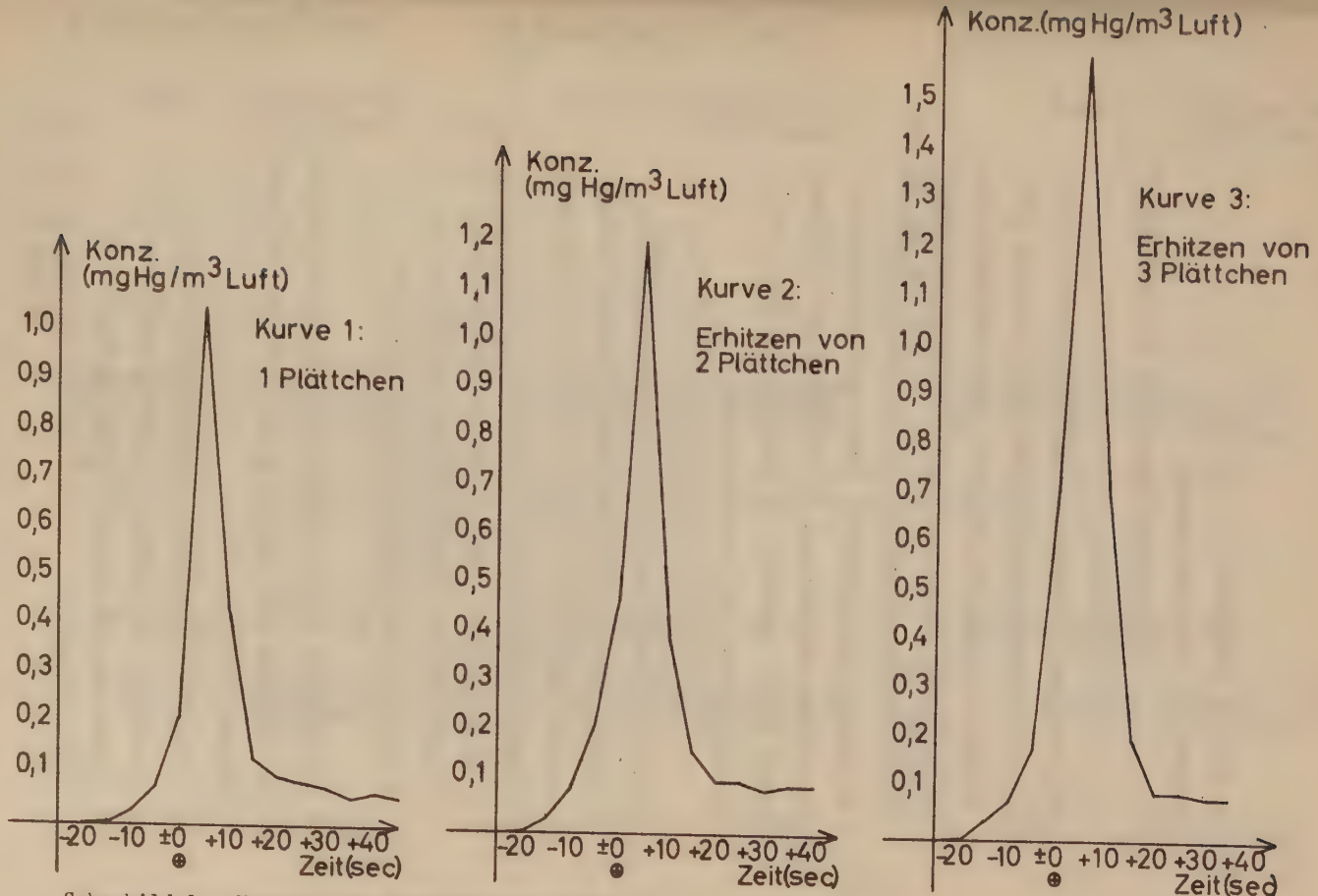

Schaubild 1: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument beim Erhitzen von Kupferamalgam im offenen Löffel

⊕ Erscheinen der ersten Perlen

bb) Im offenen Reagenzglas:

Hilfsmittel: Spiritusbrenner,
feuerfestes Reagenzglas mit Halteklammer,
Wasserglas.

Die Kupferamalgam-Plättchen wurden nach dem Einbringen in das Reagenzglas über der Spiritusflamme unter leichter Bewegung des Glases so lange erhitzt, bis sie allseitig von Quecksilberperlen umgeben waren. Das Reagenzglas wurde dabei in einem Winkel von etwa 45° zur Waagerechten gehalten. Nach dem Erhitzen wurde die Flamme gelöscht und die Kupferamalgam-Plättchen unter Wasser gebracht, um weiteres Freiwerden von Quecksilberdämpfen zu unterbinden.

Als erstes fällt auf, daß die Maxima der Kurven (vergl. Schaubild 2) in einem Bereich von 2 Zehnerpotenzen unter denen beim Erhitzen im offenen Löffel liegen, nämlich beim Erhitzen von:

1 Plättchen bei 0,012 $\pm$ 0,001 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen bei 0,035 $\pm$ 0,004 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen bei 0,049 $\pm$ 0,005 mg Hg/m^3 Luft.

Die mittlere Quecksilberdampf-Konzentration während der Meßdauer von 1 Minute liegt dabei bei der Verarbeitung von:

1 Plättchen bei 0,0040 $\pm$ 0,0004 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen bei 0,0085 $\pm$ 0,0005 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen bei 0,0146 $\pm$ 0,0006 mg Hg/m^3 Luft.

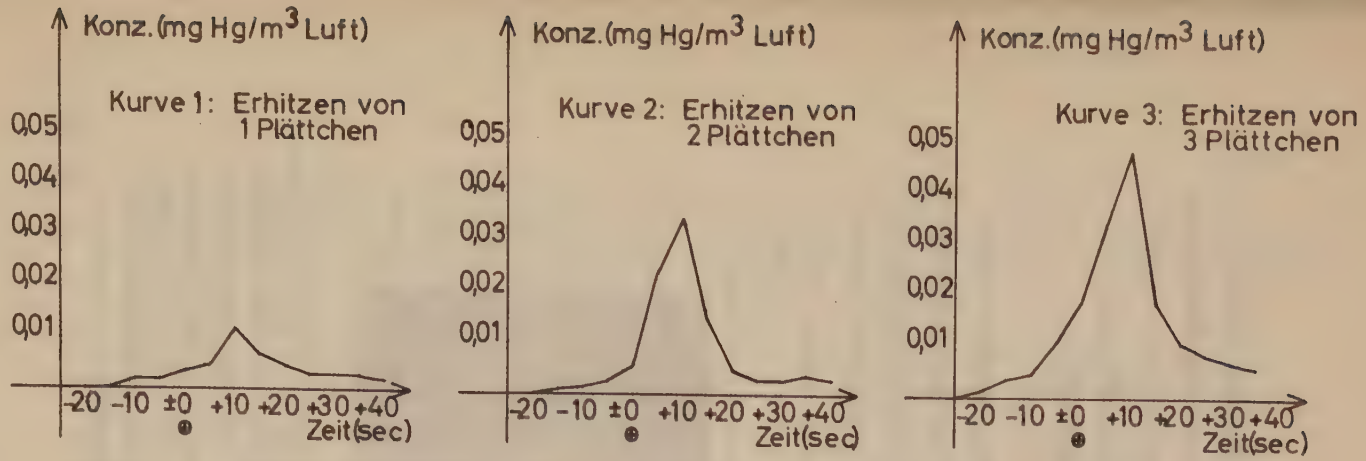

Schaubild:2: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument beim Erhitzen von Kupferamalgam-Plättchen im offenen Reagenzglas

⊕ Erscheinen der ersten Perlen

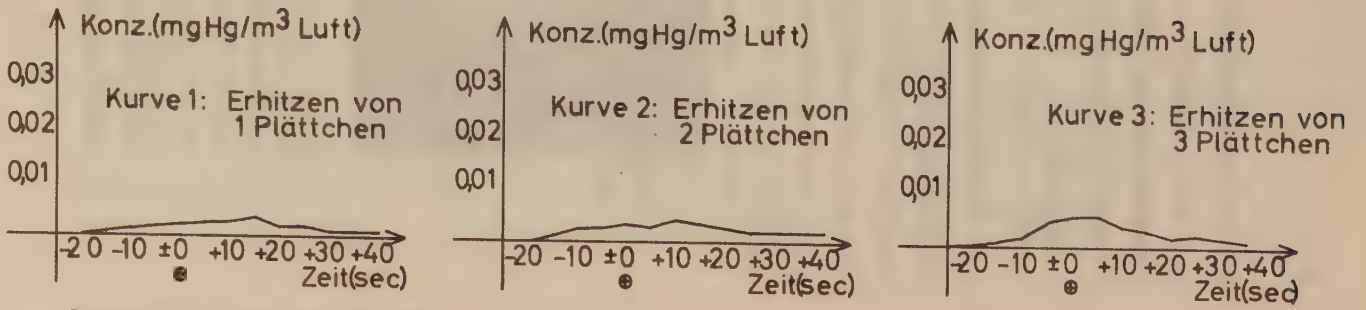

Schaubild 3: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument beim Erhitzen von Kupferamalgam-Plättchen im geschlossenen Reagenzglas

⊕ Erscheinen der ersten Perlen

Der Anstieg dazu beginnt beim Erhitzen von 1 Plättchen erst 5 Sekunden n a c h Erscheinen der Perlen, beim Erhitzen von 2 Plättchen sofort b e i m Erscheinen und beim Erhitzen von 3 Plättchen schon 10 Sekunden v o r Erscheinen der Perlen.

Eine wichtige Beobachtung wurde während aller 3 Versuchsreihen gemacht: Noch während des Erhitzens der Plättchen schlugen sich am oberen Teil des Reagenzglases feine Quecksilberperlen nieder (siehe Abb. 8), was sich mit den Beobachtungen von K. Helbig (1960) deckt.

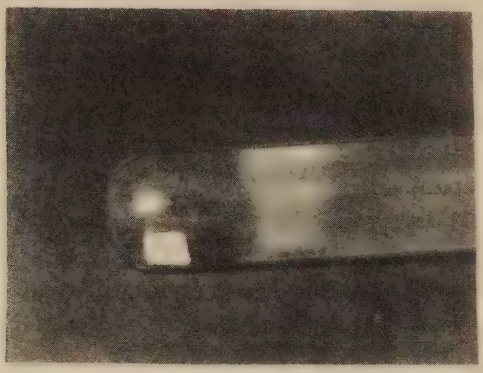

Abb. 8: Kondensierter Quecksilberdampf in Form von kleinen Quecksilberperlen am kälteren Teil des Röhrchens nach dem Erhitzen von 1 Plättchen Kupferamalgam. Die nach dem Erhitzen auf dem Plättchen erschienenen Quecksilberperlen sind zum Teil verdampft oder unter dem Plättchen zu einem großen Quecksilbertropfen zusammengeflossen.

cc) Im mit Gummikorken verschlossenen Reagenzglas:

Hilfsmittel: Spiritusbrenner,

feuerfestes Reagenzglas mit Gummikorken und Halteklammer,

Wasserglas.

Wir haben die Versuche wieder wie im Falle des offenen Reagenzglases durchgeführt: Die Kupferamalgam-Plättchen wurden wiederum unter leichten Bewegungen des geschlossenen Reagenzglases bis zum Erscheinen der Quecksilberperlen langsam erhitzt.

Es fällt auf, daß die Quecksilberdampf-Konzentration nochmals um etwa eine Zehnerpotenz niedriger ist als beim Versuch mit dem offenen Reagenzglas. Der Anstieg der Quecksilberdampfspannung geschieht bei allen drei Kurven allmählich (vergl. Schaubild 3). Die Maxima liegen beim Erhitzen von

1 Plättchen bei 0,0040 mg Hg/m^3 Luft,

2 Plättchen bei 0,0044 mg Hg/m^3 Luft,

3 Plättchen bei 0,0066 mg Hg/m^3 Luft,

jeweils 15 Sekunden nach Erscheinen der Perlen.

Die mittlere Quecksilberdampf-Konzentration während der Meßdauer von 1 Minute liegt dabei bei der Verarbeitung von:

1 Plättchen bei 0,0020 $\pm$ 0,0002 mg Hg/m^3 Luft,

2 Plättchen bei 0,0026 $\pm$ 0,0003 mg Hg/m^3 Luft,

3 Plättchen bei 0,0029 $\pm$ 0,0003 mg Hg/m^3 Luft.

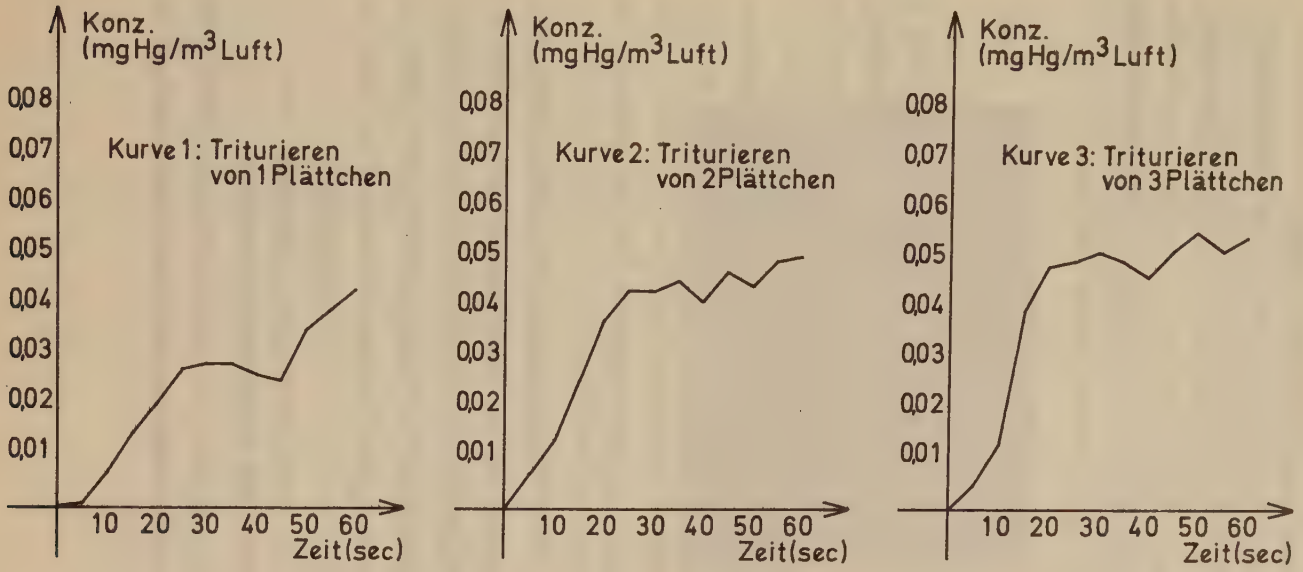

Schaubild 4: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument beim Triturieren von erhitzten Kupferamalgam-Plättchen

Während dieser Versuche muß besonders darauf geachtet werden, daß der Korken fest auf dem Reagenzglas aufsitzt und während des Erhitzens durch den erhöhten Innendruck nicht abspringt. Tritt ein solcher Fall ein, dann steigt die Quecksilberdampf-Konzentration schlagartig an.

c) Triturieren von erhitztem Kupferamalgam mittels Mörser und Pistill

Hilfsmittel: Mörser und Pistill (aus Glas)

Die in einem Nebenraum im geschlossenen Reagenzglas erwärmten Kupferamalgam-Plättchen wurden von dort im Mörser unter das Meßinstrument gebracht und hier trituriert. Dabei befanden sich stets zu Beginn am Boden des Mörsers die bei der Erhitzung der Kupferamalgam-Plättchen ausgetretenen freien Quecksilbertröpfchen. Diese verschwanden erst, wenn die Plättchen zerkleinert, zu Pulver zermahlen und mit diesem vermengt worden waren. Dazu haben wir 60 Sekunden lang trituriert.

Alle Kurven (vergl. Schaubild 4) zeigen innerhalb der ersten 20 Sekunden einen kontinuierlichen Anstieg. Sowohl Geschwindigkeit als auch Höhe des Anstieges hängen dabei offensichtlich von der Anzahl der triturierten Kupferamalgam-Plättchen ab.

Kurve 1 pendelt sich dann auf einen Wert von 0,028 mg Hg/m^3 Luft ein, fällt zwischenzeitlich noch etwas ab, um bei 45 Sekunden bis zum Ende des Versuches auf 0,044 mg Hg/m^3 Luft anzusteigen.

Die Kurven 2 und 3 pendeln nach 20 Sekunden jeweils um einen leicht ansteigenden Mittelwert. Gegen Ende der Messungen erreicht die Quecksilberdampf-Konzentration bei jeder Kurve ihren höchsten Wert, und zwar bei der Verarbeitung von:

1 Plättchen 0,044 $\pm$ 0,004 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen 0,051 $\pm$ 0,005 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen 0,056 $\pm$ 0,006 mg Hg/m^3 Luft.

Die mittlere Quecksilberdampf-Konzentration während der Meßzeit von 1 Minute liegt bei der Verarbeitung von:

1 Plättchen bei 0,0255 $\pm$ 0,0026 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen bei 0,0380 $\pm$ 0,0013 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen bei 0,0430 $\pm$ 0,0021 mg Hg/m^3 Luft.

d) Kneten von trituriertem Kupferamalgam und anschließendes Auspressen

In dieser Versuchsreihe sollte festgestellt werden, welches Vorgehen beim Kneten des triturierten Kupferamalgams für die Praxis am meisten zu empfehlen ist.

Hierzu wurde das Kupferamalgam jeweils in einem Nebenraum bis zum Kneten zubereitet, auf einem Stückchen Leder unter das Meßinstrument gebracht und dort bei folgenden Methoden untersucht:

aa) Kneten mit ungeschützten Fingern,

bb) Kneten mit Gummifingerlingen,

cc) Kneten mit dem Amalgamknetgummi.

aa) Kneten mit ungeschützten Fingern

Bei diesem in der Praxis üblichen Vorgehen interessierte vor allem, ob und in welcher Konzentration Quecksilberdämpfe von den Fingern derjenigen Person ausgehen, die das Kupferamalgam geknetet hat.

Das aus dem Mörser ausgekratzte Kupferamalgam wurde unter dem Meßinstrument ca. 30 Sekunden zwischen Zeigefinger und Daumen beider Hände geknetet, anschließend eventuell überschüssiges Quecksilber ausgepreßt. Danach wurde das geknetete Amalgam unter Wasser gegeben und die Messung beendet.

Anschließend wurden die ungewaschenen Finger in einem Abstand von ungefähr 35 cm unter das Meßinstrument gehalten und der Konzentrationsverlauf 60 Sekunden lang verfolgt.

Alle 3 Kurven (vergl. Schaubild 5) steigen 5 Sekunden nach Beginn des Knetens an.

Dabei erreicht die Konzentration beim Kneten von
1 Plättchen ein Maximum von 0,041 ± 0,004 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen ein Maximum von 0,060 ± 0,006 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen ein Maximum von 0,068 ± 0,007 mg Hg/m^3 Luft.

Die mittlere Quecksilberdampf-Konzentration während der Meßzeit von 30 Sekunden liegt bei der Verarbeitung von
1 Plättchen bei 0,023 ± 0,0023 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen bei 0,0366 ± 0,0023 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen bei 0,0437 ± 0,0027 mg Hg/m^3 Luft.

Auch in dieser Versuchsreihe zeigt sich eine Besonderheit beim Kneten von nur e i n e m Plättchen: Nach 20 Sekunden sinkt die Konzentration bis zum Ende der Messung auf einen Wert von 0,022 mg Hg/m^3 Luft ab.

Bemerkenswert ist, daß das Auspressen von Quecksilber aus dem gekneteten Amalgam keine besondere Erhöhung der Quecksilberdampf-Konzentration mit sich bringt.

Der Verlauf der Kurven, die die von den Händen ausgehende Quecksilberdampf-Konzentration darstellen, ist einander sehr ähnlich. Der Anstieg beginnt nach 5 Sekunden, nach 15 - 20 Sekunden pendelt sich die Konzentration auf einen Mittelwert ein, und zwar bei
1 Plättchen bei 0,016 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen bei 0,023 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen bei 0,023 mg Hg/m^3 Luft.

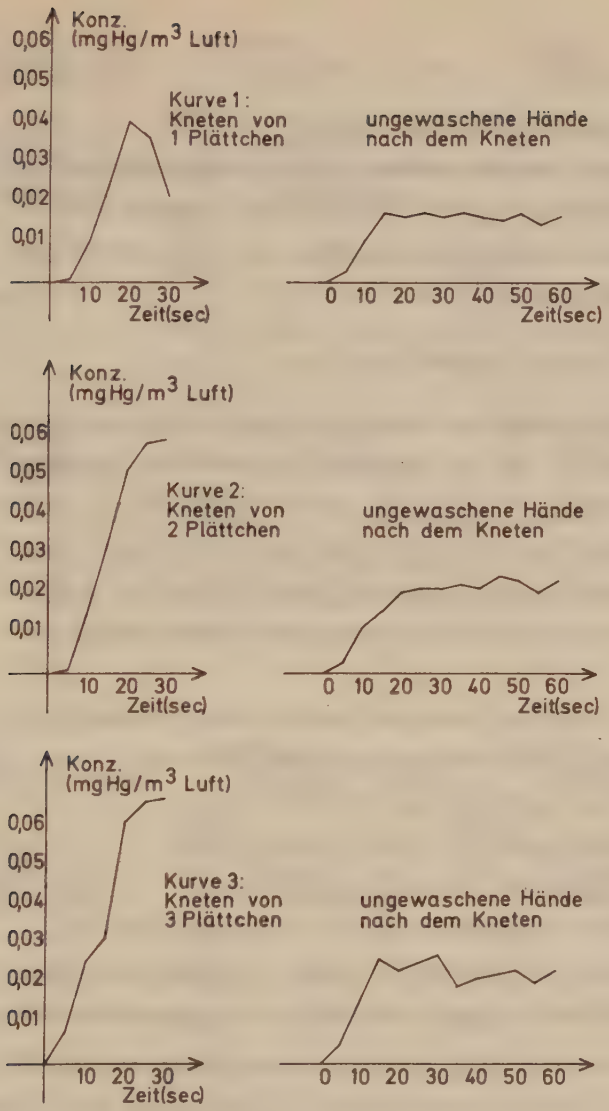

Schaubild 5: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument
a) beim Kneten von trituriertem Kupferamalgam mit ungeschützten Fingern und
b) nach dem Kneten, ausgehend von den ungewaschenen Fingern

bb) Kneten mit Gummifingerlingen

Hierbei werden Gummifingerlinge über Daumen und Zeigefinger beider Hände gestülpt, wodurch sowohl eine Verunreinigung der Haut, als auch des Amalgams vermieden wird.

Hilfsmittel: Gummifingerlinge

Die Versuche wurden wie unter aa) beschrieben durchgeführt. Das aus dem Mörser ausgekratzte Kupferamalgam wurde wieder unter dem Meßinstrument ca. 30 Sekunden lang zwischen Zeigefinger und Daumen beider Hände geknetet. Nach dem Kneten wurden die Gummifingerlinge abgezogen und unter Wasser gebracht.

Es fällt auf, daß alle Kurven (vergl. Schaubild 6) bis zu einem Maximum ansteigen, das bei
1 Plättchen bei 0,027 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen bei 0,037 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen bei 0,052 mg Hg/m^3 Luft,
liegt. Dann fallen sie bis zum Ende des Knetens wieder ab. Die Maxima liegen erheblich unter denen der Versuchsreihe des Knetens mit ungeschützten Fingern.

Als Mittelwerte der Quecksilberdampf-Konzentration ergibt sich während der Meßdauer von 30 Sekunden bei der Verarbeitung von
1 Plättchen 0,0200 $\pm$ 0,002 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen 0,0231 $\pm$ 0,002 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen 0,0233 $\pm$ 0,003 mg Hg/m^3 Luft.

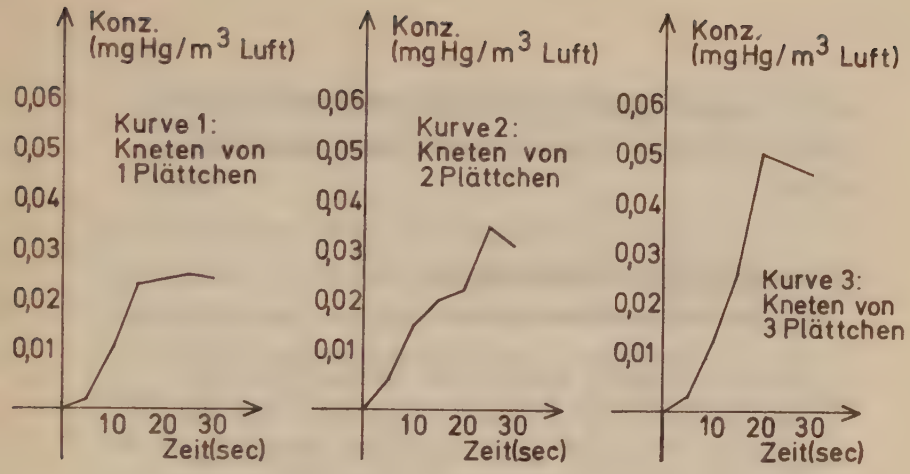

Schaubild 6: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument beim Kneten von triturier-tem Kupferamalgam mit Gummifingerlingen

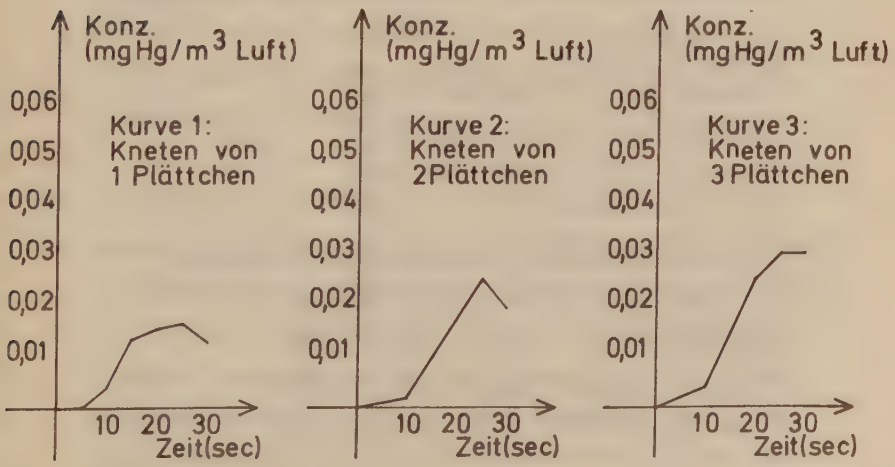

Schaubild 7: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument beim Kneten von triturier-tem Kupferamalgam mit dem Amalgamknetgummi

Auch bei dieser Versuchsreihe zeigt sich durch das Auspressen am Ende des Knetens keine Erhöhung der Konzentration.

cc) Kneten mit dem Amalgamknetgummi

Hilfsmittel: Amalgamknetgummi

Das aus dem Mörser ausgekratzte Amalgam wurde aus einem Nebenraum im Amalgamknetgummi unter das Meßinstrument gebracht, ca. 30 Sekunden geknetet, ausgepreßt und unter Wasser gelegt. Der Amalgamknetgummi wurde ebenfalls vom Arbeitsplatz entfernt. Bei diesem Knetmodus entstehen noch weniger Quecksilberdämpfe, als beim Kneten mit Gummifingerlingen (vergl. Schaubild 6 und 7).

Die Maxima liegen bei
1 Plättchen bei 0,017 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen bei 0,026 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen bei 0,031 mg Hg/m^3 Luft.

Als Mittelwerte ergeben sich während der Meßdauer von 30 Sekunden bei der Verarbeitung von
1 Plättchen 0,011 $\pm$ 0,001 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen 0,0126 $\pm$ 0,001 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen 0,0190 $\pm$ 0,0017 mg Hg/m^3 Luft.

Eine Erhöhung der Quecksilberdampf-Spannung beim Auspressen konnte auch hier nicht festgestellt werden.

4. Diskussion der Meßergebnisse bei der Zubereitung von Kupferamalgam in Einzelphasen

Ad a) Nach dem Öffnen des Kupferamalgam-Behälters ist der einmalige Ausschlag des Meßinstrumentes wohl darauf zurückzuführen, daß sich im zuvor verschlossenen Behälter eine gewisse Menge Quecksilberdampf angesammelt hat, die durch dauerndes Freiwerden minimaler Quecksilberdampfmengen aus den Kupferamalgam-Plättchen entsteht. Beim Öffnen wird diese schlagartig frei und zeitigt somit unseren Meßausschlag. Da keine wesentlichen Quecksilberdämpfe nachfolgen, sinkt das Anzeigeinstrument auch sofort wieder ab.

Konsequenz für die Praxis: Der Kupferamalgam-Behälter sollte immer gut verschlossen gehalten und am besten nur in Nähe einer Lüftungseinrichtung (Fenster, Ventilator) geöffnet werden.

Ad b) Die beim Erhitzen von Kupferamalgam gewonnen Meßergebnisse zeigen einen charakteristischen Konzentrationsverlauf: Bei der Arbeit mit dem offenen Löffel beginnt der extrem steile Anstieg der Quecksilberdampf-Spannung jeweils 5 Sekunden vor dem Erscheinen der Perlen (siehe Schaubild 1) und hat sein Maximum 5 Sekunden nach deren Erscheinen und damit dem Ende des Erhitzens.Dieses Nachhinken des Maximums ist ohne Zweifel auf den Abstand Arbeitspunkt - Meßinstrument zurückzuführen.

Dagegen kann man bei der Arbeit mit dem offenen Reagenzglas (siehe Schaubild 2) nicht von einem einheitlichen Beginn des Konzentrationsanstieges sprechen: Bei der Zubereitung von 1 Plättchen beginnt der eigentliche Anstieg erst **mit** Erscheinen der Perlen, bei der von 2 Plättchen 5 Sekunden **vor** dem Erscheinen und bei der von 3 Plättchen bereits 10 Sekunden **vor** dem Erscheinen der Perlen. Bei der Beurteilung dieser Unterschiede müssen folgende Faktoren bedacht werden:

1. Zum Erhitzen von 1, 2 und 3 Plättchen sind unterschiedliche Wärmemengen notwendig (was sich beim Erhitzen im offenen Löffel noch nicht bemerkbar macht).

2. Die Luft im Reagenzglas wird unterschiedlich erwärmt und expandiert.

3. Das Freiwerden der Quecksilberperlen aus den Plättchen erfolgt nicht schlagartig, sondern allmählich. Beim Erhitzen von 1 Plättchen kommt es ohne langes Aufheizen sehr rasch zu einem Freiwerden der Quecksilberperlen aus den Kupferamalgam-Plättchen. Dadurch wird das anfänglich in Spuren entstehende Quecksilber erst gar nicht so sehr erhitzt, so daß keine große Quecksilberverdampfung eintreten kann. Beim Erhitzen von 3 Plättchen dürfte dies allerdings

der Fall sein und daher setzt die feststellbare Quecksilberdampf-Entwicklung schon viel früher ein. Für diese Annahme spricht auch die verlängerte Anheizzeit bis zum Erscheinen der Perlen.

Was das jeweils erreichte Maximum beim Erhitzen des Kupferamalgams betrifft, so liegt dies wiederum bei allen drei Kurven einheitlich bei 10 Sekunden nach dem Ende des Erhitzens - eine bereits bekannte und durch den Abstand des Meßinstrumentes vom Arbeitspunkt bedingte Verzögerung der Anzeige.

Ein Vergleich der beim Erhitzen von Kupferamalgam auf die drei verschiedenen Arten entstehenden Quecksilberdampf-Spannungen, insbesondere der Maximalkonzentration (siehe Schaubild 8), zeigt einen außerordentlich großen Unterschied vor allem zwischen dem Erhitzen im offenen Löffel und dem im Reagenzglas. Die Konzentrationen unterscheiden sich hierbei um einen Betrag, der in der Größenordnung von mindestens 2 Zehnerpotenzen liegt.

Demgegenüber ist der Konzentrationsunterschied zwischen dem Erhitzen im offenen und im geschlossenen Reagenzglas bei weitem geringer und liegt in etwa in der Größenordnung von 1 Zehnerpotenz. Diese Ergebnisse haben folgende Erklärung:

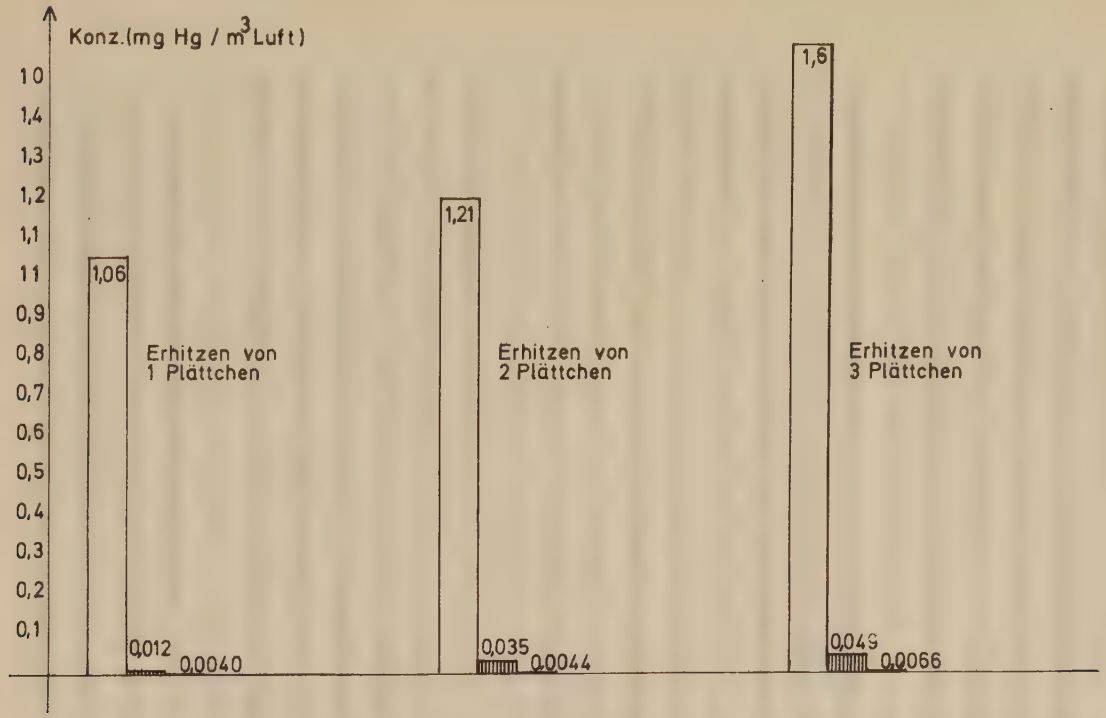

Schaubild 8: Vergleichende Darstellung der maximal entstehenden Quecksilberdampf-Konzentration beim Erhitzen von Kupferamalgam (1, 2 und 3 Plättchen)

- Erhitzen im offenen Löffel
- Erhitzen im offenen Reagenzglas
- Erhitzen im geschlossenen Reagenzglas

Während beim Erhitzen im offenen Löffel sämtliche entstehenden Quecksilberdämpfe in die umgebende Luft übergehen, entweicht selbst aus dem offenen Reagenzglas nur ein kleiner Teil (etwa mit der erwärmten Luft) des entstehenden Quecksilberdampfes. Der größte Teil kondensiert wieder an kälteren Abschnitten des Glases. Dasselbe gilt auch für das Erhitzen im fest verschlossenen Reagenzglas. Es ist anzunehmen, daß beim Erhitzen im geschlossenen Reagenzglas überhaupt keine Quecksilberdämpfe in die umgebende Luft gelangen.

Konsequenz für die Praxis: Das Erhitzen des Kupferamalgams ist im fest verschlossenen Reagenzglas durchzuführen.

Ad c) Der steile Anstieg der Quecksilberdampf-Konzentration beim Triturieren des erhitzten Kupferamalgams innerhalb der ersten 20 Sekunden ist darauf zurückzuführen, daß zu Beginn des Triturierens rasch eine große Menge Quecksilberdampf von dem am Boden des Mörsers sich befindenden warmen Quecksilbertropfen ausgeht. Wenn dieser dann durch Zerkleinern und Vermahlen mit dem Kupferamalgam-Plättchen verrieben ist, so steigt die Konzentration während des Anreibens nur noch wenig weiter an.

Konsequenz für die Praxis: Der freie Quecksilbertropfen sollte möglichst rasch mit den Kupferamalgam-Plättchen vermengt werden.

Ad d) Beim Kneten des triturierten Kupferamalgams auf die verschiedene Art und Weise zeigt es sich, daß die niedrigsten Maximal-Konzentrationen bei der Verwendung eines Amalgamknetgummis entstehen (vergl. Schaubild 9). Sie sind dabei nur etwa halb so hoch wie beim Kneten mit den bloßen Fingern. Dies dürfte daher rühren, daß

1. ein Teil des beim Kneten freiwerdenden Quecksilbers vom Gummi aufgenommen wird und daß
2. der freiwerdende Quecksilberdampf bedingt durch die Form des Amalgam-Knetgummis nicht unmittelbar in die Umgebung entweichen kann.

Beim Kneten mit den bloßen Fingern entstehen, abgesehen davon, daß auch nach dem Kneten noch laufend Quecksilberdampf von den verschmutzten Fingern frei wird, auch w ä h r e n d des Knetens die höchsten Quecksilberdampf-Spannungen.

Die Verwendung von Gummifingerlingen zum Schutz der Finger verhindert zwar den unmittelbaren Kontakt mit dem Amalgam, bringt gegenüber dem Gebrauch eines Knetgummis keine Vorteile: Die entstehenden Konzentrationen liegen auch hier deutlich über denen bei der Verwendung eines Knetgummis.

Konsequenz für die Praxis: Das Kneten des triturierten Kupferamalgams sollte ausschließlich im Amalgamknetgummi erfolgen.

Schaubild 9: Vergleichende Darstellung der maximal entstehenden Quecksilberdampf-Konzentration beim Kneten von trituriertem Kupferamalgam (1, 2 und 3 Plättchen)

- Kneten mit den bloßen Fingern
- Kneten mit Hilfe von Gummifingerlingen
- Kneten mit dem Amalgamknetgummi

Z u s a m m e n f a s s e n d kann für die Zubereitung von Kupferamalgam Folgendes festgestellt werden:

a) Beim Erhitzen entstehen die höchsten Quecksilberdampf-Konzentrationen bei der Arbeit mit dem offenen Löffel, die niedrigsten Konzentrationen bei der Arbeit mit dem geschlossenen Reagenzglas.

b) Beim Triturieren steigt die Quecksilberdampf-Konzentration hauptsächlich zu Beginn an, um anschließend fast konstant zu bleiben. Es ist wichtig, möglichst rasch sich im Mörser befindendes freies Quecksilber mit dem Kupferamalgam zu vermischen.

c) Beim Kneten des triturierten Kupferamalgams steigt die Quecksilberdampf-Konzentration bei der Arbeit mit den bloßen Fingern am höchsten an; am wenigsten bei der Verwendung eines Amalgamknetgummis.

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse haben wir weitere Versuchsreihen angeschlossen, über die im Folgenden berichtet werden soll.

B. Die Zubereitung von Kupferamalgam bis zum gebrauchsfertigen Amalgam in einem Arbeitsgang

1. Die Zubereitung von Kupferamalgam ohne Zusatzeinrichtung

a) Die Durchführung der Versuche

Die Zubereitung geschah auf dem bereits beschriebenen Arbeitsplatz in einem Abstand von ca. 30 cm vom Meßinstrument. Die Kupferamalgam-Plättchen wurden nach dem Öffnen der Dose mit einer Pinzette in das feuerfeste Reagenzglas getan (Phase 1). Diese dauerte im Durchschnitt 30 Sekunden. Danach haben wir die Plättchen in dem 45° zur Spiritusflamme gehaltenen, mit einem Gummistöpsel verschlossenen Reagenzglas so lange erhitzt, bis alle im Glas sich befindenden Plättchen allseitig von Quecksilberperlen umgeben waren (Phase 2). Hierzu benötigten wir in Abhängigkeit von der Anzahl der erhitzten Plättchen zwischen 20 und 25 Sekunden. Anschließend wurde die Flamme gelöscht, das Reagenzglas geöffnet und die erhitzten Plättchen in einen Glasmörser umgeschüttet (Zwischenphase 1).

Da einerseits eine feststehende Versuchszeit eingehalten werden sollte, andererseits aber die Phasen 1 und 2 unterschiedliche Zeit in Anspruch nahmen, wurde

diese Zwischenphase 1 reichlich gewählt, um sie gegebenenfalls abkürzen und als Zeitausgleich - etwa für das Erhitzen - verwenden zu können.

Im Mörser wurden die Kupferamalgam-Plättchen mit einem Glasspatel zerkleinert, fein zerrieben und 60 Sekunden lang kräftig trituriert (Phase 3).

Anschließend haben wir das an der Mörserwand verteilte Amalgam mit einem Metallspatel abgekratzt und auf einem Lederläppchen gesammelt (Zwischenphase 2). Dies dauerte etwa 30 Sekunden.

Für das anschließende Umschütten des zusammengekratzten Amalgams in den Amalgamknetgummi haben wir 10 Sekunden angesetzt (Zwischenphase 3). Auch diese Zeit wurde reichlich gewählt, um sie als Ausgleich für die vorausgegangenen, manchmal unterschiedlich langen Phase 3 und Zwischenphase 2 verwenden zu können.

Für die letzte Phase der Zubereitung des Kupferamalgams, das Kneten im Amalgamknetgummi und das anschließende Auspressen haben wir 30 Sekunden angesetzt (Phase 4). Danach wurde das verarbeitungsfertige Amalgam unter Wasser gebracht und die Messung beendet. Damit dauerte die gesamte Zubereitung insgesamt 3 Minuten und 30 Sekunden.

Für die Versuche verwendeten wir folgende Hilfsmittel: Kupferamalgam-Behälter,

Spiritusbrenner,

Reagenzglas mit Gummikorken und Halteklammer,

Mörser und Pistill (aus Glas),

Zementspatel,

Amalgamknetgummi.

Diese Hilfsmittel blieben während der Messungen auf dem Arbeitstischchen liegen.

b) Ergebnisse bei der Zubereitung von Kupferamalgam ohne Zusatzeinrichtung

Die 3 Kurven (vergl. Schaubilder 10, 11 und 12) zeigen einen typischen und einander ähnlichen Verlauf. Der Anstieg der Konzentration - bedingt durch das Öffnen des Behälters - beginnt 5 Sekunden nach Versuchsbeginn. Nach dem Verschluß des Reagenzglases und während der Erhitzungsphase sinkt die Konzentration etwas ab und pendelt um einen Mittelwert. Ein Anstieg erfolgt erst wieder nach Öffnen des Reagenzglases und während des Umschüttens, insbesondere dann zu Beginn des Triturierens. Hierbei so stark, daß der Meßbereich der oberen Skala bei weitem überschritten wird.

Da eine Umeichung, wie bereits vorne erwähnt, während des laufenden Versuchs auf den anderen Meßbereich

(von 0,03 - 3,0 mg Hg/m^3 Luft) nicht möglich war, konnten Quecksilberdampf-Konzentrationen während eines laufenden Versuches nur bis 0,1 mg Hg/m^3 Luft verfolgt werden.

Um dennoch die Konzentrationen zu bestimmen, die zu Beginn des Triturierens erreicht werden, haben wir in Nebenversuchen Messungen mit dem Meßbereich von 0,03 - 3,0 mg Hg/m^3 Luft durchgeführt. Hierbei wurden Konzentrationen bei der Zubereitung von

1 Plättchen von 1,5 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen von 1,8 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen von 2,0 mg Hg/m^3 Luft maximal gemessen.

Etwa 15 Sekunden nach Beginn des Triturierens tritt die Quecksilberdampf-Konzentration wieder in den Meßbereich von 0,001 - 0,1 mg Hg/m^3 Luft ein. Sie fällt bei Kurve 1 bis 35 Sekunden nach Beginn des Triturierens, bei den Kurven 2 und 3 bis 20 Sekunden danach stark ab und schwenkt dann auf einen fast konstanten Wert ein, auf dem sie während des gesamten weiteren Triturierens bleibt.

Starke Schwankungen der Konzentration zeigen sich bei allen drei Kurven bei der Phase des Auskratzens des triturierten Kupferamalgams aus dem Mörser. Während des Umschüttens des triturierten Kupferamalgams in den Amalgamknetgummi sinkt die Konzentration ab, pendelt anschließend um einen Mittelwert, um dann gegen Ende noch etwas weiter abzusinken.

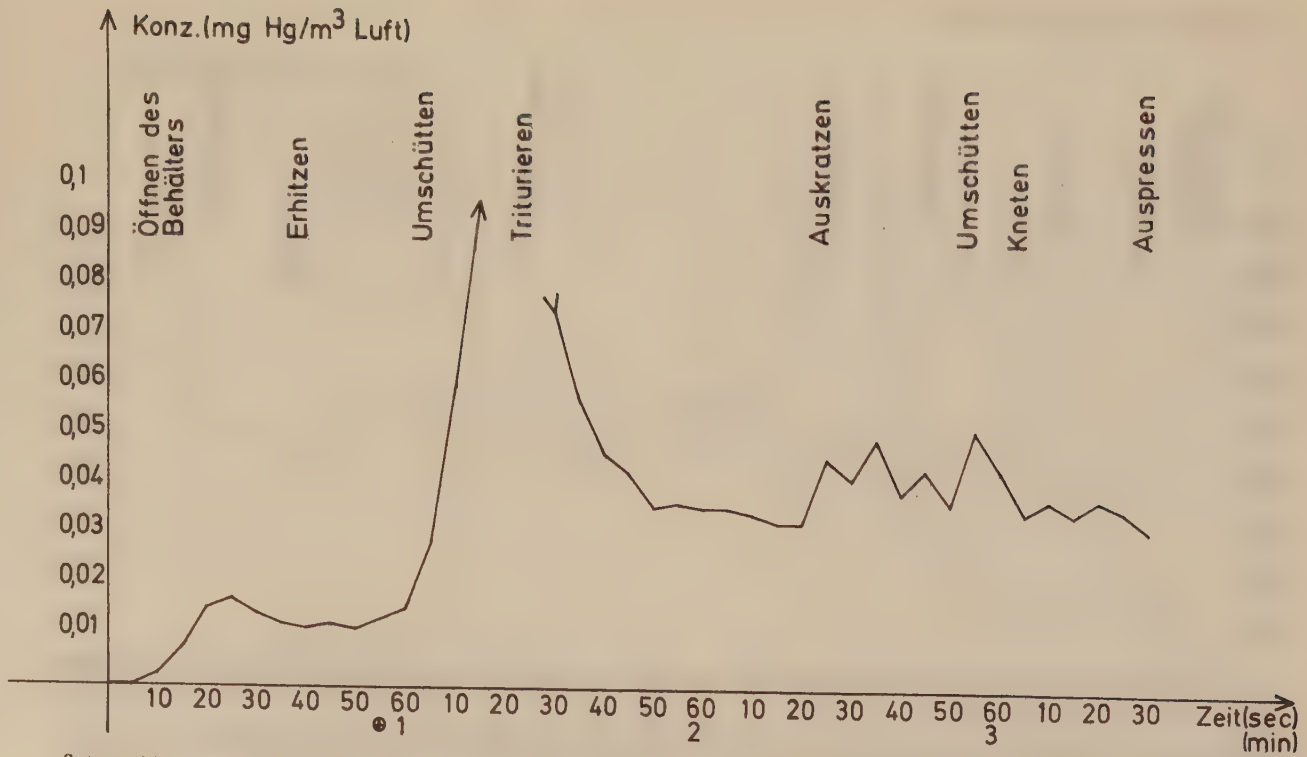

Schaubild 10: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument bei der Zubereitung von 1 Plättchen Kupferamalgam ohne Zusatzeinrichtung

⊛ Erscheinen der ersten Perlen

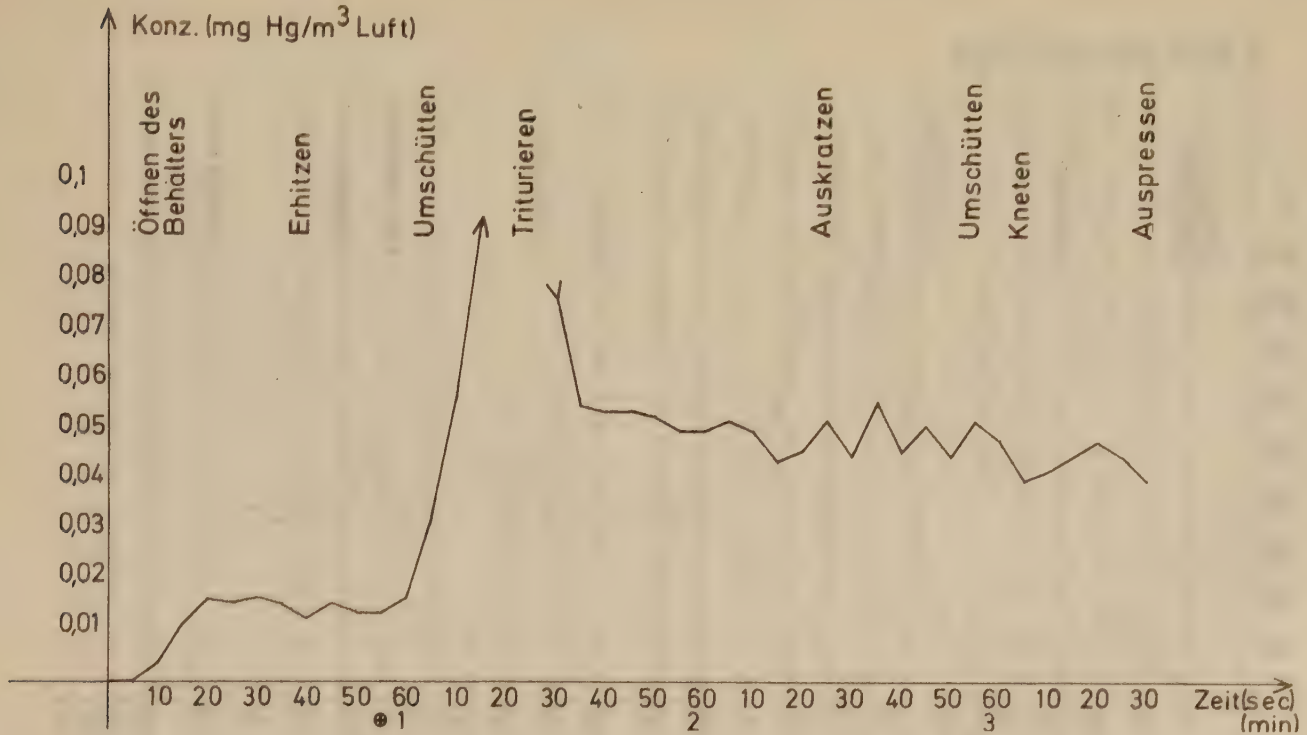

Schaubild 11: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument bei der Zubereitung von 2 Plättchen Kupferamalgam ohne Zusatzeinrichtung

⊛ Erscheinen der ersten Perlen

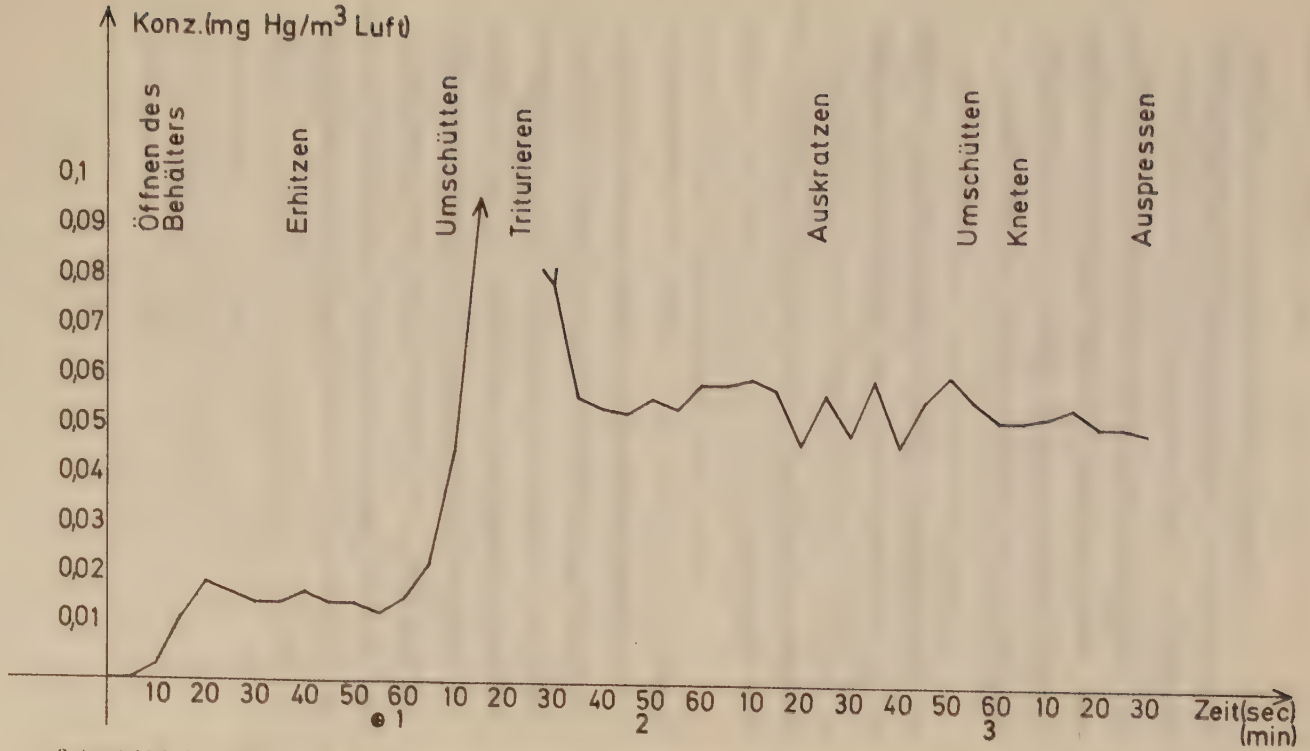

Schaubild 12: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument bei der Zubereitung von 3 Plättchen Kupferamalgam ohne Zusatzeinrichtung

● Erscheinen der ersten Perlen

Z u s a m m e n f a s s e n d kann festgestellt werden:

Obwohl bei dieser Versuchsreihe sämtliche aus den Untersuchungen der Einzelphasen gemachten Erfahrungen beachtet, alle Vorsichtsmaßnahmen eingehalten und somit versucht wurde, die Quecksilberdampf-Konzentration möglichst niedrig zu halten, kommt es dennoch zu einem starken Anstieg der Quecksilberdampf-Spannung im Versuchsraum.

Besonders hohe Quecksilberdampf-Konzentrationen entstehen bei und nach dem Umschütten des erhitzten Kupferamalgams in den Mörser. Auch beim Auskratzen des triturierten Amalgams aus dem Mörser treten noch starke Konzentrationsschwankungen auf.

Hiermit zeigt es sich, daß bei diesen Zwischenphasen der Kupferamalgam-Zubereitung die Verbreitung der Quecksilberdämpfe in die umgebende Luft noch ungenügend eingedämmt ist. Da jedoch die Zubereitung eines verarbeitungsfähigen Kupferamalgams, insbesondere das Erhitzen der Kupferamalgam-Plättchen, durch die Art der Legierung des Kupferamalgams nicht umgangen werden kann, haben wir nach weiteren Möglichkeiten gesucht, die Verbreitung der Quecksilberdämpfe im Versuchsraum so weit wie möglich zu verhindern.

2. Maßnahmen zur Senkung der Quecksilberdampf-Konzentration im Behandlungsraum

Unter Auswertung und Berücksichtigung der vorausgegangenen Untersuchungen über die Zubereitung von Kupferamalgam in einem Arbeitsgang, haben wir in den folgenden Versuchsreihen angestrebt, die innerhalb der einzelnen Arbeitsphasen jeweils zu unterschiedlich hohen Konzentrationen führenden Quecksilberdämpfe im Behandlungsraum zu senken.

Zu diesem Zweck wurde der gesamte Arbeitsgang der Kupferamalgam-Zubereitung separat durchgeführt bzw. in einen in sich abgeschlossenen Raum verlegt.

So konstruierten wir zunächst einen Hohlwürfel der Kantenlänge 40 cm (siehe Abb. 11) und versahen diesen mit Absaugeanlagen unterschiedlicher Stärke. Als Absaugepumpen haben wir dabei folgende Geräte benutzt:

a) Haushaltsstaubsauger vom Typ Fakir S 15,
   Saugleistung 5 000 l/min.
b) Orosuc der Futura-Einheit der Firma Emda,
   Saugleistung 480 l/min.
c) Wasserstrahlpumpe eines Evakuiergerätes,
   Saugleistung 55 l/min.
d) Speichelzieher einer Ritter-Einheit,
   Saugleistung 8 l/min.

Darüberhinaus war es uns in unserer Klinik möglich, vergleichsweise die Zubereitung von Kupferamalgam auch in einem Digestorium eines wissenschaftlichen Labors durchzuführen.

a) Zubereitung von Kupferamalgam in einem Hohlwürfel der Kantenlänge 40 cm unter Verwendung verschiedener Absaugeanlagen

Bei sämtlichen Messungen dieser Versuchsreihe waren folgende Hilfsmittel bereits vor Beginn im Würfel und wurden dort auch nach Beendigung der Messung belassen:

Spiritusbrenner,

feuerfestes Reagenzglas mit Gummikorken und Halteklammer,

Glasmörser und Pistill,

Zementspatel,

Amalgamknetgummi.

Die Absaugekammer ist folgendermaßen konstruiert: Drei Seiten des Würfels und der Boden bestehen aus 0,6 mm starken Plexiglasplatten, die an den Kanten miteinander verklebt sind. An der vierten Seite haben wir einen Plastikvorhang angebracht, der an der Seite den Zugang zum Würfelinnenraum ermöglicht. Als Dach des Würfels erwies sich nach mehreren Vorversuchen mit verschiedenen Decken eine pyramidenförmige Plexiglashaube mit einer Höhe von 20 cm als die günstigste Form.

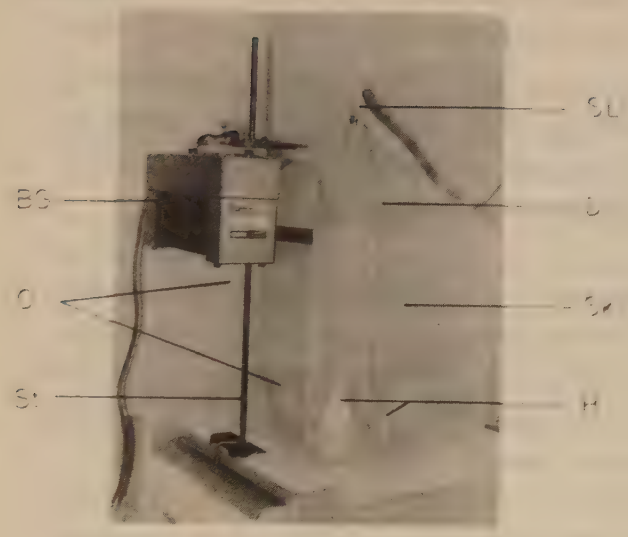

Abb. 9: Absaugekammer mit pyramidenförmig aufgesetztem Dach und Meßinstrument in situ

BG = Meßinstrument
Ö = Plastikfolie mit Öffnung für die Hände
St = Stativ
SL = Saugleitung
D = pyramidenförmiges Dach
SK = Saugkammer
H = Hilfsmittel im Innern der Kammer: Spiritusbrenner, Kupferamalgam-Behälter, Reagenzglas usw.

An ihrer Spitze wurde jeweils das entsprechende Absaugerohr luftdicht eingeführt (vergl. Abb. 11). Die angesaugte Luft haben wir bei der Verwendung des Haushaltsstaubsaugers ins Freie abgeleitet. Bei den übrigen Anlagen war dies aus der gegebenen technischen Konstruktion der Pumpen nicht möglich.

Die Absaugepumpe wurde bereits 1 Minute vor Versuchsbeginn eingeschaltet, um während dieser Zeit die Nullpunkteinstellung des Meßgerätes kontrollieren und, falls geringe Abweichungen auftraten, diese noch nachträglich regulieren zu können.

Nach jedem Versuch wurden die Absaugekammer und der Versuchsraum gründlich gelüftet.

Das Meßinstrument befand sich bei den Versuchen unmittelbar vor und über der Arbeitsöffnung der Kammer (vergl. Abb. 11). Bei dieser Anordnung, die am ehesten den Verhältnissen in der zahnärztlichen Praxis entspricht, befindet sich das Meßgerät etwa in Höhe des Gesichts einer zahnärztlichen Helferin.

Das Kupferamalgam wurde wiederum auf die bereits empfohlene und bisher beschriebene Art und Weise zubereitet.

aa) Ergebnisse bei der Verwendung einer Absaugeanlage mit einer Saugleistung von 5 000 l/min.:

Die drei Kurven ähneln sich in ihrem Verlauf (vergl. Schaubilder 13, 14 und 15): Der erste Quecksilberdampf wird vom Meßinstrument nach 15 - 20 Sekunden registriert. Die Konzentration steigt relativ rasch an und zwar je nach Anzahl der verarbeiteten Plättchen verschieden hoch. Bei der Verarbeitung von

1 Plättchen bis zu 0,00087 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen bis zu 0,00100 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen bis zu 0,00140 mg Hg/m^3 Luft.

Während der Phase des Erhitzens und der ersten Hälfte des Umschüttens bleibt die Konzentration praktisch konstant. Nach dem Erscheinen der Perlen sinkt sie sogar noch etwas ab und steigt dann kurz vor Beginn des Triturierens wieder langsam an. Während dieser Phase fällt die Quecksilberdampf-Spannung beim Versuch mit
1 Plättchen allmählich ab, bei dem mit
2 Plättchen bleibt sie etwa konstant und bei
3 Plättchen steigt sie deutlich an.

Beim Auskratzen des triturierten Amalgams kommt es in allen drei Fällen dann wieder zu einem langsamen Konzentrationsanstieg bis zum Ende des Versuchs. Dieser Anstieg wird während des Umschüttens des gelockerten Amalgams aus dem Mörser in den Amalgamknetgummi nur kurz von einem Abfall unterbrochen.

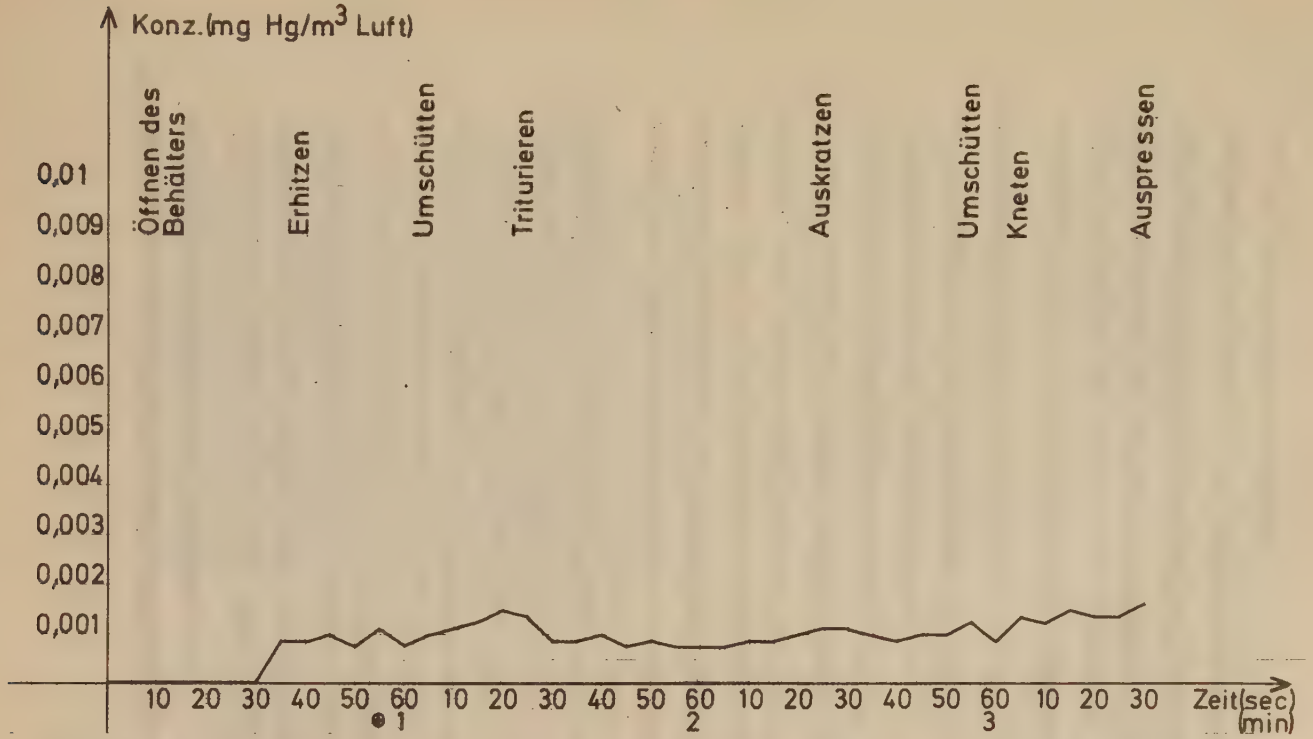

Schaubild 13: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument bei der Zubereitung von 1 Plättchen Kupferamalgam mit Absaugen (Saugleistung ca.5 000 l/min.)

● Erscheinen der ersten Perlen

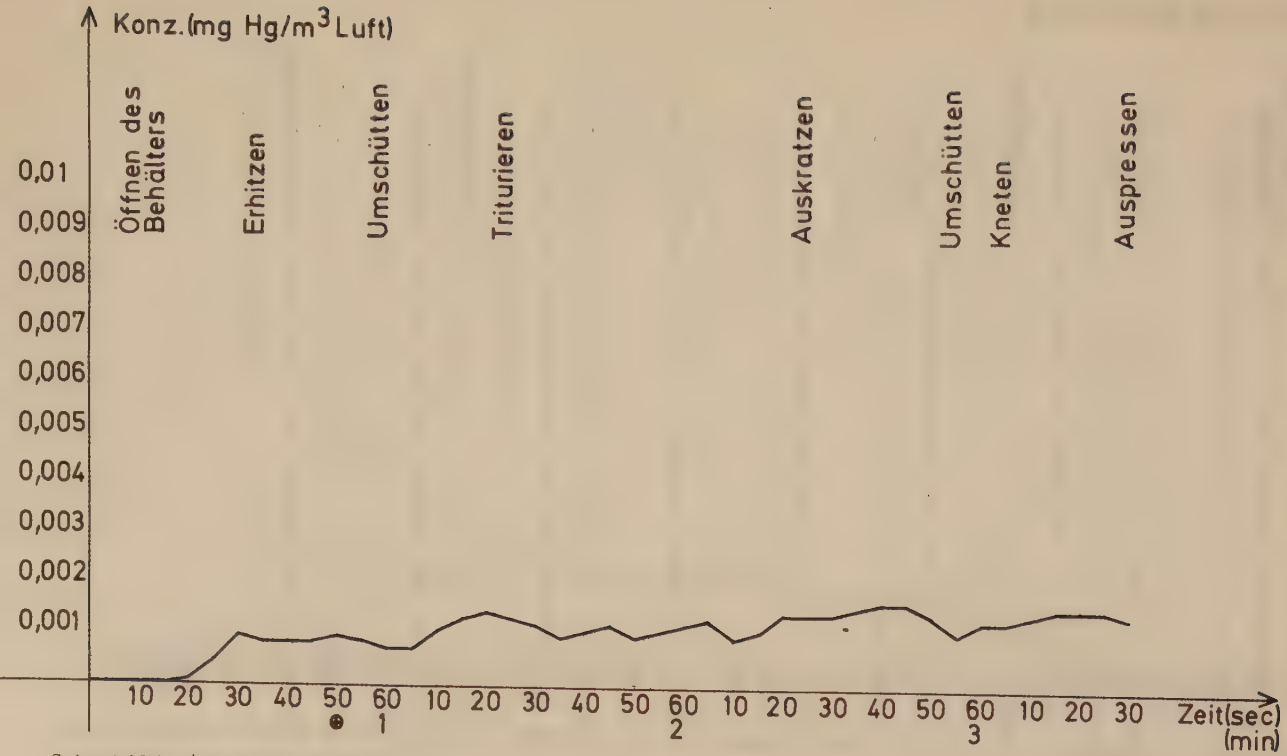

Schaubild 14: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument bei der Zubereitung von 2 Plättchen Kupferamalgam mit Absaugen (Saugleistung ca.5 000 l/min.)
⊛ Erscheinen der ersten Perlen

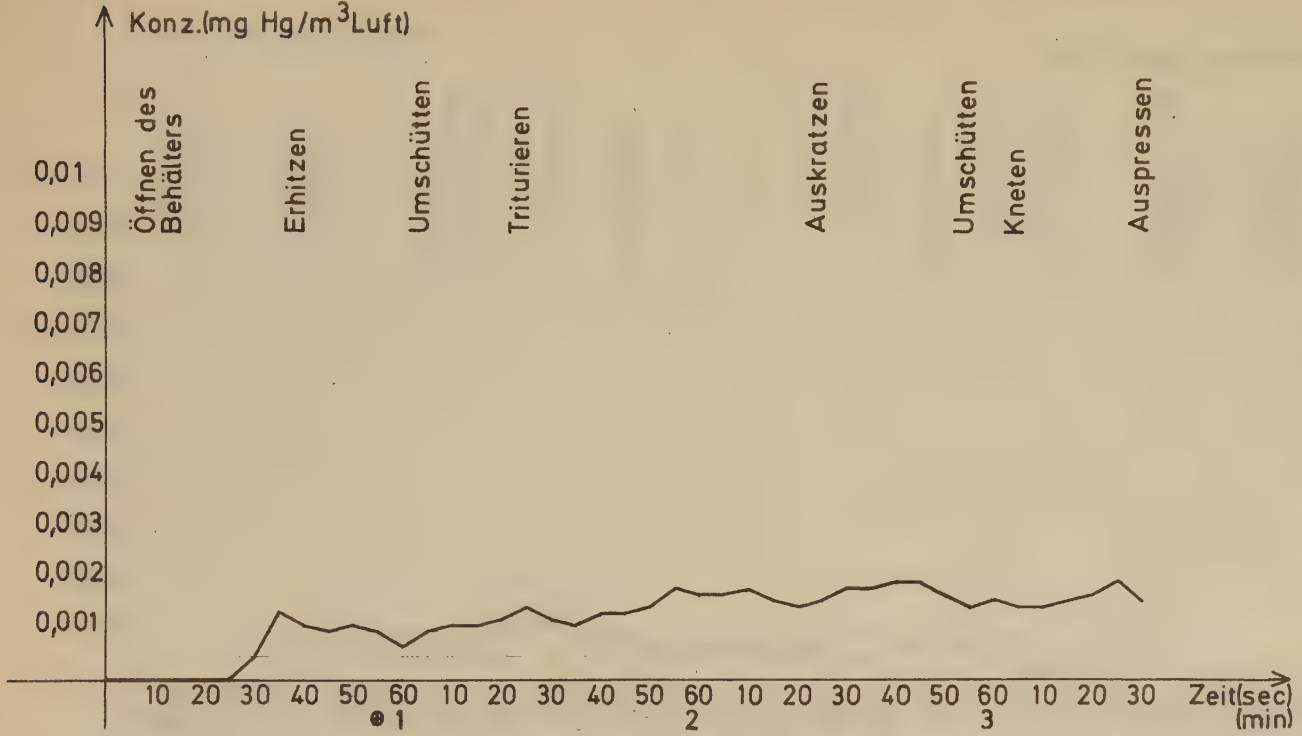

Schaubild 15: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument bei der Zubereitung von 3 Plättchen Kupferamalgam mit Absaugen (Saugleistung ca.5 000 l/min.)

● Erscheinen der ersten Perlen

bb) Ergebnisse bei der Verwendung einer Absaugeanlage mit einer Saugleistung von 480 l/min. (Orosuc):

Die Versuche wurden gleich durchgeführt wie bei den vorausgegangenen beschrieben; Als Absaugepumpe diente lediglich der Orosuc der Firma Emda, Frankfurt. Auch bei dieser Versuchsreihe ähneln sich alle drei Kurven in ihrem Verlauf (vergl. Schaubilder 16, 17 und 18): Die Quecksilberdampf-Spannung steigt etwa 5 Sekunden vor Beginn des Erhitzens an, und zwar bei der Verarbeitung von

1 Plättchen bis zu 0,0020 mg Hg/m^3 Luft,
2 Plättchen bis zu 0,0021 mg Hg/m^3 Luft,
3 Plättchen bis zu 0,0025 mg Hg/m^3 Luft,
und fällt nach 10 bis 15 Sekunden leicht ab.

Gegen Ende des Umschüttens der Plättchen in den Mörser steigt sie wiederum deutlich an. Anschließend pendelt sie sich nach einem kurzen Abfall auf einen konstanten Wert ein, von dem aus sie kurz vor und während des Auskratzens des Amalgams aus dem Mörser wieder ansteigt. Dieser Anstieg dauert bis zum Ende des Versuchs und wird nur durch einen kleinen Abfall während des Umschüttens des Amalgams in den Amalgamknetgummi unterbrochen.

Dabei wurden Konzentrationen erreicht, die ansteigen bei

1 Plättchen bis zu 0,0039 mg Hg/m^3 Luft,

2 Plättchen bis zu 0,0046 mg Hg/m^3 Luft,

3 Plättchen bis zu 0,0052 mg Hg/m^3 Luft.

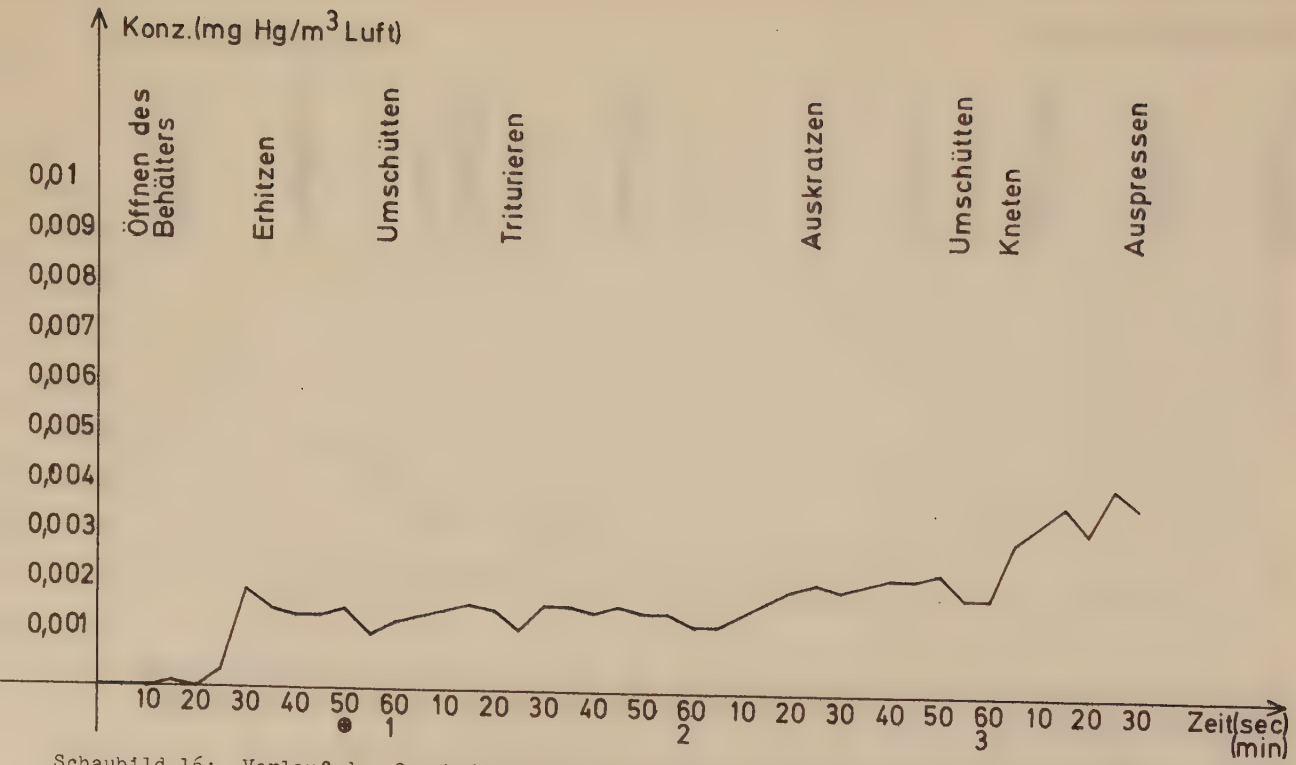

Schaubild 16: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument bei der Zubereitung von 1 Plättchen Kupferamalgam mit Absaugen (Saugleistung ca. 480 l/min)
⊛ Erscheinen der ersten Perlen

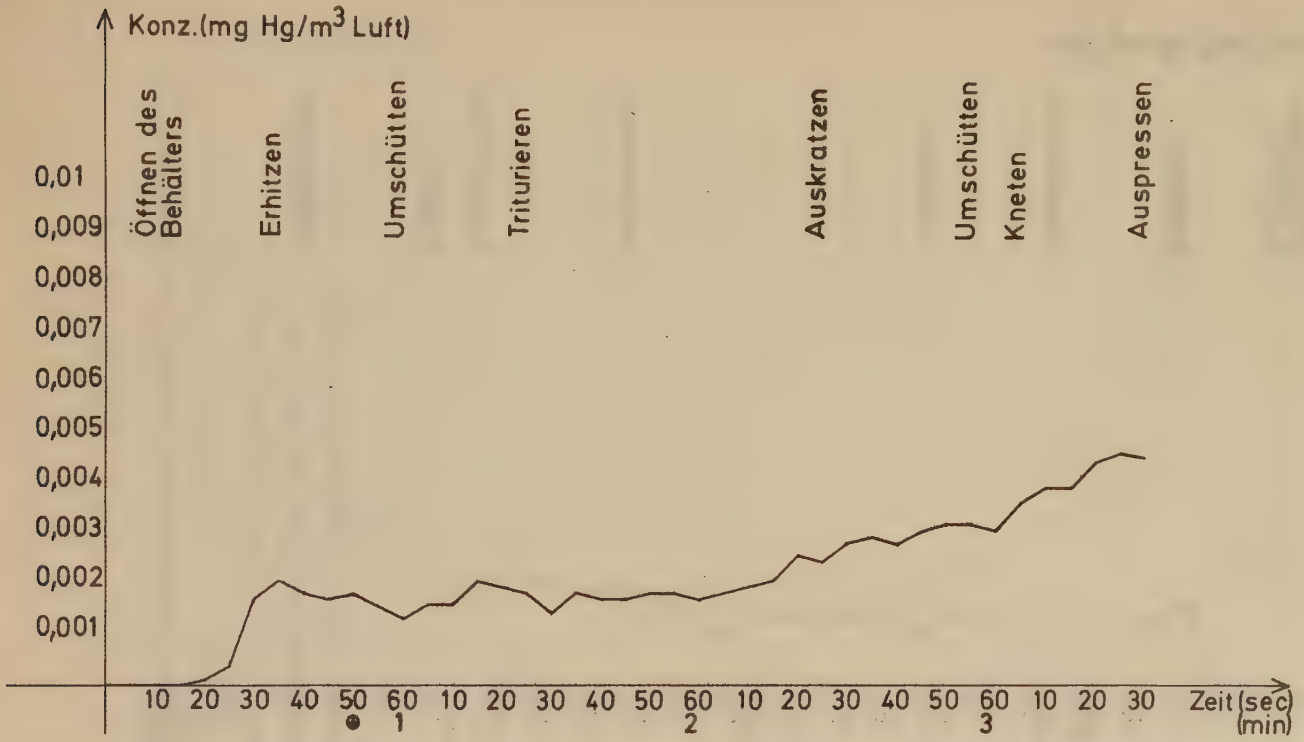

Schaubild 17: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument bei der Zubereitung von 2 Plättchen Kupferamalgam mit Absaugen (Saugleistung ca. 480 l/min.)

● Erscheinen der ersten Perlen

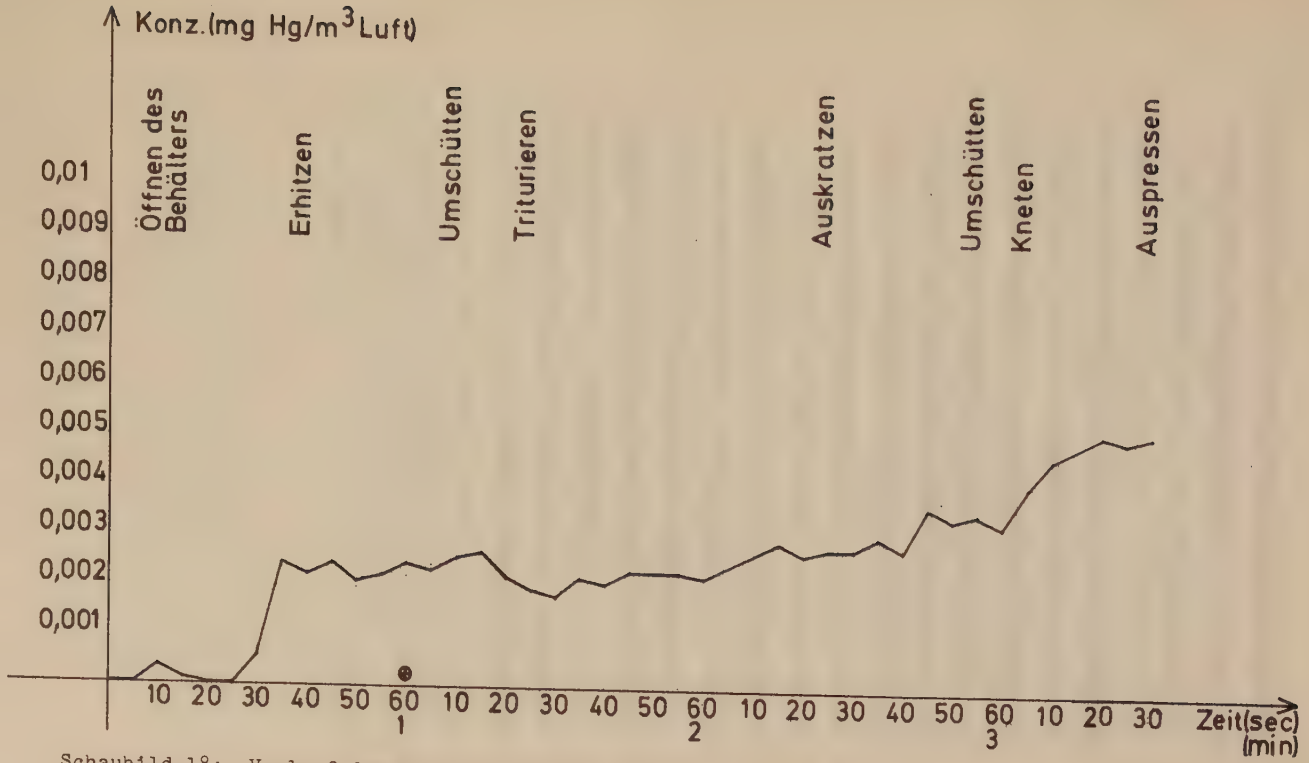

Schaubild 18: Verlauf der Quecksilberdampf-Konzentration im Abstand von 35 cm vom Meßinstrument bei der Zubereitung von 3 Plättchen Kupferamalgam mit Absaugen (Saugleistung ca. 480 l/min)
⊛ Erscheinen der ersten Perlen

cc) Verwendung von Absaugeanlagen mit einer Saugleistung von 55 l/min. (Wasserstrahlpumpe) und einer Saugleistung von 8 l/min. (Speichelzieher):

Mit beiden Saugleistungen konnten wir die Quecksilberdampf-Konzentration in der Luft des Behandlungsraumes nicht wesentlich niedriger halten, als bei der Arbeit ohne Absaugeanlage. In beiden Fällen - sowohl bei der Verwendung einer Wasserstrahlpumpe, als auch bei der Verwendung eines Speichelziehers als Absaugepumpe - stiegen die Konzentrationen bereits nach dem Erhitzen der Kupferamalgam-Plättchen beim Umschütten des erwärmten Kupferamalgams in den Mörser außerhalb der Absaugekammer sehr rasch auf Werte von über 0,1 mg Hg/m^3 Luft. Dies kommt nahezu den Versuchen o h n e Absaugeanlage gleich, so daß wir verzichteten, auch hier noch eine gesonderte Versuchsreihe anzuschließen.

b) Zubereitung von Kupferamalgam in einem Digestorium unseres wissenschaftlichen Labors

Das Digestorium ist 130 cm hoch, 125 cm breit und 35 cm tief. Für die Untersuchungen wurden wiederum wie zuvor sämtliche benötigten Hilfsmittel in das Digestorium gelegt. Um die notwendigen Arbeiten im Innern ausführen zu können, haben wir die Glasschiebetür, die sich an der Vorderseite befindet, einen Spalt breit geöffnet. Über dieser Öffnung wurde das Beckman-Gerät angebracht.

Ergebnisse:

Bei der Zubereitung von Kupferamalgam in einem Digestorium unseres klinisch-wissenschaftlichen Labors konnten wir nach einer längeren Versuchsreihe auch o h n e nachherige Lüftung des Digestoriums außerhalb desselben keine meßbaren Quecksilberdampf-Konzentrationen feststellen. Sie blieben gleich Null, obwohl innerhalb des Digestoriums durchaus Quecksilberdämpfe vorhanden waren, z.T. sogar bis zu Konzentrationen von über 0,1 mg Hg/m^3 Luft.

c) Zusammenfassung

Um die Quecksilberdampf-Konzentration bei der Verwendung von Kupferamalgam im jeweiligen Arbeitsraum niedrig zu halten, wurde die Zubereitung des Amalgams in eine von der umgebenden Luft isolierte Kammer verlegt. Ihre Größe beträgt 40 cm x 40 cm x 40 cm; sie hat ein pyramidenförmiges Dach und ist gleichzeitig mit einer Luftabsaugeanlage versehen. Dadurch sollte eine Anreicherung von Quecksilberdampf außerhalb der Kammer verhindert werden.

Befriedigende Ergebnisse wurden erreicht bei der Verwendung von Saugpumpen mit einer Leistung von 5 000 l/min. und 480 l/min. Die Quecksilberdampf-Konzentration steigt dabei bis zum Ende der Zubereitung z.B. einer für eine Füllungstherapie voll ausreichenden Amalgammenge von 3 Plättchen nicht höher als 0,0053 mg Hg/m^3 Luft an.

Schwache Saugleistungen von z.B. nur 55 l/min. und 8 l/min. reichen nicht aus. Vor der Arbeitsöffnung der Kammer entstehen hierbei sehr rasch Konzentrationen über 0,1 mg Hg/m^3 Luft.

Bei Versuchen in einem Labor-Digestorium erhielten wir die besten Ergebnisse, d.h. selbst nach mehreren

Versuchen mit mehreren Plättchen lassen sich hernach außerhalb des Digestoriums keine Quecksilberdämpfe messen.

Somit kann abschließend festgestellt werden, daß die bei der Zubereitung von Kupferamalgam sich in den Arbeitsraum ausbreitenden Quecksilberdämpfe durch die Anwendung einer Absaugekammer und eines Digestoriums wesentlich verringert bzw. ganz ausgeschaltet werden können.

IV. DISKUSSION

In der vorliegenden Arbeit haben wir im ersten Teil die Zubereitung von Kupferamalgam in die jeweiligen Einzelphasen zerlegt und in Zusammenhang damit die dabei jeweils entstehenden Quecksilberdampf-Konzentrationen untersucht.

Beim E r h i t z e n der Kupferamalgam-Plättchen ergaben sich die höchsten Quecksilberdampf-Spannungen bei der Verwendung eines offenen Löffels. Hiermit bestätigten wir die Untersuchungen von A. Kröncke, H.-J. Gülzow und R. Mayer (1963) und von W. Ketterl und K. Lamprecht (1964), die die höchsten Konzentrationen ebenfalls beim Erhitzen im offenen Löffel erhielten. Die niedrigsten Konzentrationen erzielten wir beim Erhitzen der Kupferamalgam-Plättchen in einem gut verschlossenen Reagenzglas. Hierbei kann der Quecksilberdampf nicht in die umgebende Luft austreten und sich außerdem am kälteren Teil des Glases niederschlagen.

Beim T r i t u r i e r e n des erwärmten Kupferamalgams mittels Mörser und Pistill sollte darauf geachtet werden, daß die Kupferamalgam-Plättchen möglichst rasch mit dem aus ihnen ausgetretenen freien Quecksilber

vermengt werden. Dadurch kann aus diesem kein Quecksilberdampf mehr aufsteigen.

Beim K n e t e n des triturierten Kupferamalgams erhielten wir die günstigsten Meßergebnisse bei der Verwendung eines Amalgamknetgummis, die ungünstigsten bei der Arbeit mit den bloßen Fingern. Beim Kneten mit dem Amalgamknetgummi wird ein Teil des freiwerdenden Quecksilbers sicherlich von dem Gummi absorbiert (Schwarzfärbung desselben) und kann - wegen der abgebogenen Form des Knetgummis - außerdem nicht direkt an die umgebende Luft entweichen.

Ein unmittelbarer Vergleich unserer Untersuchungsergebnisse aus den Messungen bei der Zubereitung von Kupferamalgam in Einzelphasen mit Messungen anderer Autoren, wie u. a. F.W. Böcker und R. Marxkors (1965), R. Kropp (1963 und 1964), ist nicht möglich, da diese immer nur die bei der Zubereitung von Kupferamalgam entstehende G e s a m t - Konzentration gemessen haben.

Obwohl bei den Versuchsreihen im zweiten Teil der Arbeit, in dem das Kupferamalgam in e i n e m Arbeitsgang zubereitet wurde, sämtliche aus den Untersuchungen der Einzelphasen gemachten Erfahrungen beachtet wurden, zeigte es sich, daß es trotzdem zu

einem erheblichen Anstieg der Quecksilberdampf-Konzentration im Versuchsraum kommt. Besonders hoch steigt die Konzentration nach dem Umschütten des erhitzten Kupferamalgams in den Mörser zu Beginn des Triturierens. Wir erhielten hierbei Quecksilberdampf-Konzentrationen weit über einen Wert von 0,1 mg Hg/m^3 Luft. Sie stiegen kurzfristig sogar bis auf 1,5 mg Hg/m^3 Luft bis 2,0 mg Hg/m^3 Luft an.

Während die Untersuchungen von F.W. Böcker und R. Marxkors (1965) ähnliche Werte ergaben, besteht gegenüber denen von W. Ketterl und K. Lamprecht (1964) eine Diskrepanz. W. Ketterl und K. Lamprecht erreichen Konzentrationen, die erst nach 30 Minuten in die Nähe des MAK-Wertes kommen. Dies dürfte jedoch damit zu erklären sein, daß ein unmittelbarer Vergleich der beiden Versuchsreihen nicht ohne weiteres möglich ist, da sowohl der Meßpunkt, als auch der Abstand Arbeitsplatz - Meßpunkt, die Raumgröße und die Luftzirkulation für die Höhe der gemessenen Konzentrationen eine große Rolle spielen und bei beiden Versuchsreihen unterschiedlich waren.

Die von uns gemessene besonders hohe Konzentration nach dem Umschütten des erhitzten Kupferamalgams in den Mörser ist vielleicht dadurch erklärbar, daß sehr große Mengen Quecksilberdampf von den kleinen, noch erhitzten Quecksilbertropfen abrauchen.

Da wir jedoch einerseits die Quecksilberdampf-Konzentration bei der Kupferamalgam-Zubereitung so niedrig wie möglich halten wollten, andererseits aber den beschriebenen Zubereitungsmodus durch die Art der Kupferamalgam-Legierung nicht umgehen konnten (besonders die Erhitzungsphase!), haben wir nach weiteren Möglichkeiten gesucht, die Ansammlung von Quecksilberdampf im Versuchsraum zu verhindern.

Zu diesem Zweck verlegten wir die Zubereitung des Kupferamalgams in eine separate Kammer der Größe 40 cm x 40 cm x 40 cm mit pyramidenförmigem Dach. In die Spitze der Kammer wurde der Schlauch einer leistungsfähigen Absaugepumpe eingeführt. Diese Maßnahme brachte eine wirksame Verringerung der Quecksilberdampf-Konzentration im Versuchsraum (vergl. Schaubild 19). Es waren dazu allerdings Saugpumpen mit einer Leistung von 5 000 l/min. und 480 l/min. notwendig. Diese Saugleistungen bewirken unserer Meinung nach einen genügend starken Luftstrom, der ein Entweichen der Quecksilberdämpfe aus der Kammer verhindert.

Wie aus den weiteren Untersuchungen hervorgeht, sind schwache Saugleistungen von z.B. 55 l/min. und 8 l/min. völlig unzureichend und ergeben einen zu geringen Luftstrom von der Arbeitsöffnung der Kammer zum Absaugekanal,

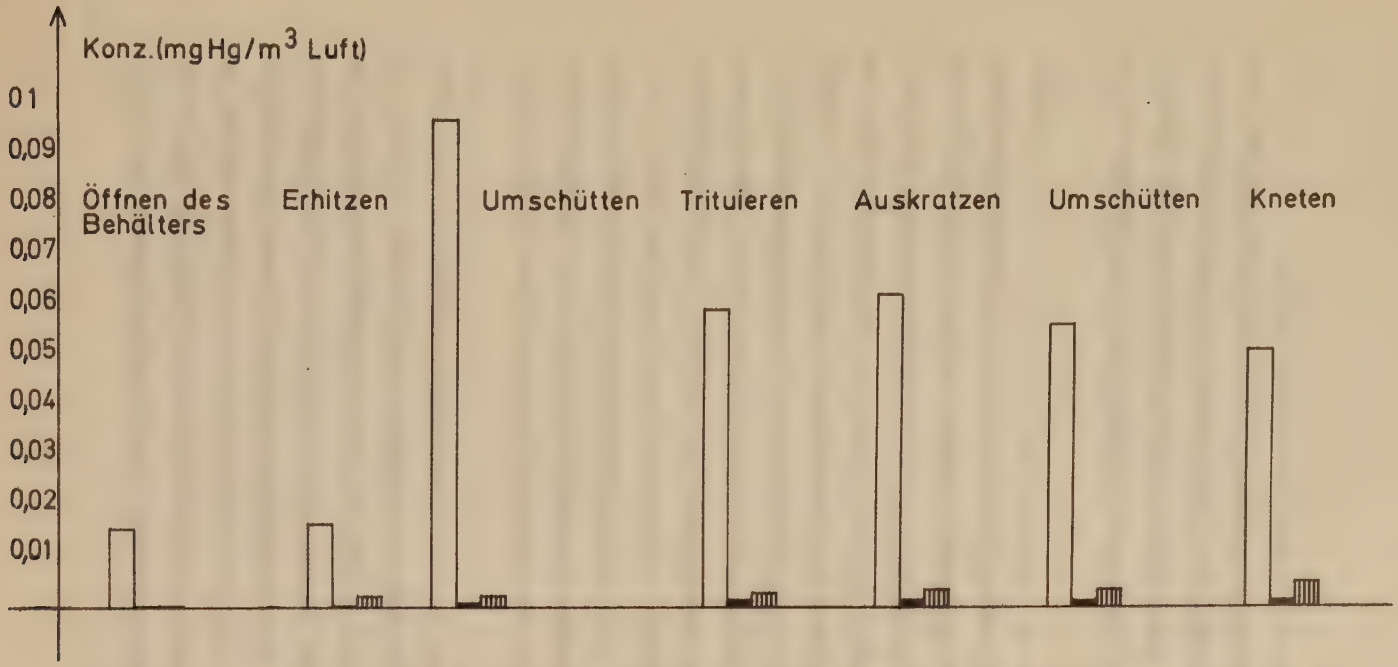

Schaubild 19: Darstellung der Quecksilberdampf-Konzentration am Ende eines jeden Arbeitsganges bei der Verarbeitung von jeweils 3 Plättchen, entnommen aus den Schaubildern 12, 15 und 18

Zubereitung ohne Zusatzeinrichtung

Zubereitung mit Absaugeanlage (Saugleistung 5 000 l/min.)

Zubereitung mit Absaugeanlage (Saugleistung 480 l/min.)

so daß nach wie vor Quecksilberdämpfe aus der Kammer entweichen können. Dies tritt besonders wiederum ein nach dem Entleeren der erhitzten Kupferamalgam-Plättchen in den Mörser.

Die untere Grenze dürfte bei Saugleistungen von etwa 400 l/min. liegen, da es sich bereits bei den Untersuchungen mit der Saugleistung von 480 l/min. zeigte, daß gegen Ende der Versuche die Quecksilberdampf-Konzentration gegenüber der Saugleistung von 5 000 l/min. doch auf relativ hohe Werte ansteigt, z.B. bei der Zubereitung von 3 Plättchen Kupferamalgam auf 0,0052 mg Hg/m^3 Luft einerseits gegenüber nur 0,0017 mg Hg/m^3 Luft andererseits.

Die ergänzenden Untersuchungen in einem Labor-Digestorium zeigen die besten Ergebnisse: Sowohl die Größe der Kammer als auch deren Abdichtung und die Stärke der Absaugeanlage sind äußerst zuverlässig und voll ausreichend. Die Einplanung eines solchen Digestoriums, das sicher noch zahlreiche andere Anwendungsmöglichkeiten bietet (Arbeit mit Säuren, Aufbewahrung leicht flüchtiger Flüssigkeiten usw.) in die zahnärztliche Praxis,würde somit die optimale Lösung darstellen.

Halten wir fest: Mit den oben beschriebenen Hilfsmitteln läßt sich die Quecksilberdampf-Konzentration im Versuchsraum w i r k s a m v e r h i n d e r n ; mit einer "Kammer" und einer entsprechend starken Absaugeanlage g a n z a u s s c h a l t e n .

Unter Berücksichtigung dieser Untersuchungen und der bekannten unbestrittenen Vorteile des Kupferamalgams (oligodynamische Wirkung, gute Wandständigkeit, ausgezeichneter Randschluß) wäre von Fall zu Fall abzuwägen, ob nicht die von zahlreichen Autoren, wie L.-J. Baume (1955), K.O. Frykholm (1957), K. Helbig (1960), P.J. Hallowag, I.N. Swallow und G.L. Slack (1969), W. Pilz (1967), H.H. Rebel (1947), H. Schach (1965) u.a., vertretene V e r w e n d u n g i m M i l c h g e b i ß nicht doch gegeben ist.

Sorgfältige Indikation, richtige Verarbeitung und vor allem sorgsame Zubereitung des Kupferamalgams sollten allerdings dann zu den selbstverständlichen und wichtigsten Voraussetzungen gehören!

V. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befaßt sich in ihrem ersten Teil mit der Entstehung von Quecksilberdampf bei folgenden Einzelphasen der Kupferamalgam-Zubereitung:

Öffnen des Kupferamalgam-Behälters,

Erhitzen der Kupferamalgam-Plättchen:
- Im offenen Löffel,
- im offenen Reagenzglas,
- im geschlossenen Reagenzglas.

Triturieren des erhitzten Amalgams mittels Mörser und Pistill,

Kneten des triturierten Kupferamalgams:
- Mit den bloßen Fingern,
- mit durch Gummifingerlinge geschützten Fingern,
- mit dem Amalgamknetgummi.

Mit Hilfe des Beckman-Gerätes, das nach dem Prinzip der Absorption von UV-Licht der Wellenlänge 253,7 µm durch Quecksilberdampf arbeitet, wurde der Zeitpunkt und die Höhe der Quecksilberdampf-Entwicklung untersucht. Es zeigte sich, daß bei allen untersuchten Phasen Quecksilberdämpfe frei werden. Besonders viel Dämpfe entstehen beim Erhitzen des Kupferamalgams im offenen Löffel.

Durch die Verwendung eines Reagenzglases kann die Quecksilberdampf-Konzentration wesentlich erniedrigt werden. Wird das Reagenzglas mit einem Gummikorken fest verschlossen, so entstehen praktisch keine Quecksilberdämpfe mehr. Allerdings entweicht beim Öffnen des Glases ein Teil der erwärmten Dämpfe nach außen.

Beim Kneten von trituriertem Kupferamalgam mit ungeschützten Fingern entstehen ebenfalls hohe Quecksilberdampf-Spannungen. Selbst nach dem Kneten gehen von den ungewaschenen Händen noch Quecksilberdämpfe aus. Erfolgt das Kneten im Amalgamknetgummi, so entstehen wesentlich geringere Konzentrationen.

Zusammenfassend läßt sich somit empfehlen:

1. Erhitzen der Kupferamalgam-Plättchen im geschlossenen Reagenzglas und
2. Kneten des triturierten Amalgams im Amalgamknetgummi.

Im zweiten Teil der Arbeit wird die Entwicklung von Quecksilberdampf unter Berücksichtigung der Untersuchungen des ersten Teils bei der Zubereitung von Kupferamalgam in e i n e m Arbeitsgang untersucht. Dabei stellte es sich heraus, daß bei den Zwischenphasen "Umschütten des erhitzten Kupferamalgams in den Mörser" und "Auskratzen des triturierten Amalgams aus dem Mörser" relativ große Mengen Quecksilberdampf frei werden.

So steigt z.B. die Konzentration sofort nach dem Umschütten kurzfristig auf Werte über 0,1 mg Hg/m^3 Luft an.

Beim Auskratzen ergeben sich starke Konzentrationsschwankungen mit Höchstkonzentrationen zwischen 0,05 mg Hg/m^3 Luft und 0,06 mg Hg/m^3 Luft. Die entstehende Konzentration ist dabei abhängig von der Anzahl der vorher triturierten Plättchen.

Zur Verhinderung der Ausbreitung von Quecksilberdämpfen im Arbeitsraum wurde die Zubereitung des Kupferamalgams in einen mit einer Absaugeanlage kombinierten Hohlwürfel der Kantenlänge von 40 cm (mit pyramidenförmigem Dach) verlegt. Bei diesen Untersuchungen mit Saugpumpen verschiedener Leistungsstärken zeigte es sich, daß es bei Saugleistungen von 480 l/min. und 5 000 l/min. außerhalb des Würfels nur zu geringen Erhöhungen der Quecksilberdampf-Konzentration kommt. Niedrige Saugleistungen von 8 l/min. und 55 l/min. erzeugen einen zu geringen Luftstrom, um das Entweichen von Quecksilberdampf aus dem Würfelinneren zu verhindern.

Keine Quecksilberdampf-Konzentration in der Luft des Versuchsraumes konnten wir bei der Arbeit in einem Labor-Digestorium feststellen.

Mit Hilfe dieser m ö g l i c h e n Maßnahmen bzw. Zusatzeinrichtungen kann somit die Konzentration des gefährlichen Quecksilberdampfes jederzeit wirksam gesenkt werden. Eine Gefährdung des zahnärztlichen Personals durch Quecksilberdampf bei der Zubereitung von Kupferamalgam ist damit nicht mehr gegeben. Die Verwendung des Kupferamalgams im Milchgebiß kann somit - auf Grund seiner unbestrittenen Vorteile - unter den aufgezeigten Voraussetzungen von Fall zu Fall erwogen werden.

VI. LITERATURVERZEICHNIS

1. Baume, L.-J.: Strittige Fragen der konservierenden Zahnheilkunde in amerikanischer Sicht: Amalgam, Caries profunda Dtsch. zahnärztl. Z. 10, 715-716 (1955)

2. Baume, L.-J.: Amalgamfüllung anno domini 1601 Öst. Z. Stomat. 55, 188-193 (1958)

3. Biedermann, W.: Betrachtungen über Kupferamalgam Zahnärztl. Welt 6, 528-529 (1951)

4. Binzegger, W.: Untersuchungen über die Gefahren der Zahnärzte und deren Hilfspersonal durch Quecksilber Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 38, 477-480 (1928)

5. Black, G.: An Investigation of the Physical Characters of the Human Teeth in Relation to their Deseases, and to practical Dental Operations together with the Physical Characters of Filling-Materials Dent. Cosmos 37, 737-740 (1895)

6. Böcker, F.W. und R. Marxkors: Untersuchungen über den Quecksilberdampfgehalt in der Luft bei der Verarbeitung von Amalgamen Dtsch. Zahnärztebl. 19, 127-129, (1965)

7. Borinski, P.: Die Frage des Kupferamalgams Zahnärztl. Rdsch. 38, 1669 (1929)

8. Borinski, P.: Die Amalgamfrage
Zahnärztl. Mitt. 20, 499-502 (1929)

9. Bundesverband dtsch. Zahnärzte: Amalgamgutachten, bearbeitet von P. Riethe, R. Marxkors und E. Wannenmacher
Zahnärztl. Mitt. 56, 315-316 (1966)

10. Dieck, W.: Über den Stand der Frage: Quecksilberintoxikation durch Amalgamfüllungen
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 45, 833-835 (1927)

11. Duisberg, U.: Untersuchungen über den Quecksilberdampfgehalt in der Luft einer künstlichen Mundhöhle während zahnärztlicher Verrichtungen
Med. Diss. Tübingen 1967

12. Einfeldt, H.: Die Amalgamfüllung
Praktische anwendbare Arbeitsregeln auf der Grundlage neuerer Forschungsergebnisse
Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 325-337 (1966)

13. Fink, E.: Quecksilberdampfdruckmessungen an Dental-Amalgamen durch Absorption der Resonanzlinie 2537 Å
Med. Diss. Tübingen 1959

14. Fischer, Ch., R. Preuner und A. Sue: Untersuchungen über die bakterizide Wirkung von zur Wurzelkanalfüllung gebrauchten Amalgamen auf Bakterien des Wurzelkanals
Dtsch. zahnärztl. Z. 7, 581-590 (1952)

15. Fleischmann, P.: Über den Stand der Frage der Gefährlichkeit der Amalgamfüllungen
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 31, 141-149 (1928)

16. Fleischmann, P.: Zur Frage der Gefährlichkeit kleinster Quecksilbermengen
Klin. Wschr. 7, 186-188 (1928)

17. Frykholm, K.O.: On Mercury from Dental Amalgam. Its Toxic and Allergic Effects and some Comments on Occupational Hygiene
Acta odont. scand 15, 23-24, 33, 36-37 (1957)

18. Fuchs, K.-H.: Über die Gewebsverträglichkeit von Kupferamalgam im Zusammenhang mit seiner Verwendung als Werkstoff zur Wurzelspitzenresektion
Med. Diss. Tübingen 1958

19. Fühner, H.: Chronische Vergiftung und Amalgamgefahr
Klin. Wschr. 33, 1545 (1927)

20. Gordonoff, G. und O. Schütz: Über die Gefährlichkeit der Amalgamfüllungen
Zahnärztl. Rdsch. 39, 599 (1930)

21. Greth, H.: Die Amalgamfüllung
1. Aufl.,J.F. Lehmanns, München-Berlin (1938) 7-13

22. Haber, G.: Neues zur Amalgamfrage
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 33, 399 (1928)

23. Harndt, E.: Ergebnisse klinischer Untersuchungen zur Lösung der Amalgam-Quecksilberfrage
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 33, 564 (1930)

24. Hassan El Cheikh, A.: Untersuchungen über die Quecksilberausscheidungen bei Trägern und Bearbeitern von Amalgamfüllungen
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 45, 208-219 (1927)

25. Hahn, G.: Zur Amalgamfrage
Zahnärztl. Rdsch. 38, 462-464 (1929)

26. Häusermann, R.: Zur Kupferamalgamfrage
Dtsch. Zahnärztebl. 9, 125 (1955)

27. Helbig, K.: Zur Frage der vermeintlichen Gesundheitsschädlichkeit des Kupferamalgams
Dtsch. Stomat 2, 303 (1952)

28. Helbig, K.: Zur Kupferamalgamfrage
Dtsch. Zahnärztebl. 8, 692 (1954)

29. Helbig, K.: Zur Frage der Gefährdung von Patient und Zahnarzt durch Kupferamalgam
Dtsch. Zahnärztebl. 9, 125 (1955)

30. Helbig, K.: Ist Kupferamalgam zum Füllen der Zähne noch zu empfehlen
Dtsch. Stomat. 10, 619-621 (1960)

31. Helbig, K.: Die richtige Zubereitung und Verarbeitung des quecksilberarmen Kupferamalgams
Dtsch. Stomat 10, 751-752 (1960)

32. Helbig, K.: Die erste Verwendung von Amalgam in der Zahnheilkunde
Zahnärztl. Mitt. 48, 382 (1960)

33. Holländer, L.H.: Das Füllen der Zähne und deren Extraktion
1. Aufl., Felix, Leipzig (1878)

34. Hallowag, P.J., I.N. Swallow und G.L. Slack: Child Dental Health
1. Aufl., John Wright and Sons, Bristol (1969)

35. Jarecki, M.: Die Gefährlichkeit des Quecksilberdampfes
Zahnärztl. Rdsch. 35, 327-329 (1926)

36. Joachimoglu, G.: Amalgamfüllung und Quecksilbervergiftung
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 45, 444 (1927)

37. Jung, C.: Das Füllen der Zähne
1. Aufl., Deutike, Leipzig-Wien (1905) 75

38. Kantorowicz, A.: Klinische Zahnheilkunde
1. Aufl., Hermann Meusser, Berlin (1924)

39. Keibel, I.: Die Quecksilberabgabe aus Amalgamfüllungen. Neue Untersuchungsmethoden mit Hg ^{203}
Med. Diss. Göttingen 1959

40. Keßler, W.: Problematik der Milchzahnbehandlung
Dtsch. Zahnärztebl. 7, 357 (1953)

41. Ketterl, W. und K. Lamprecht: Zum Problem des Quecksilber-Dampfgehalts in zahnärztlichen Räumen
Dtsch. zahnärztl. Z. 19, 1104-1108 (1964)

42. Ketterl, W.: Konservierende Behandlung des Milchgebisses
Dtsch. Zahnärztebl. 20, 237-240 (1966)

43. Knappwost, A.: Über einen eigentümlichen Wirkungsmechanismus des Cuprioxyds im Cuprioxydzement
Dtsch. zahnärztl. Ztg. 6, 375-385 (1951)

44. Knappwost, A.: Über die das Fluor ergänzende Wirkung des Kupfers in der lokalen Kariesprophylaxe
Dtsch. zahnärztl. Ztg. 8, 611-619 (1953)

45. Knolle, G. und B. Günther: Beitrag zu der Äthiologiehypothosynthese Amalgam und multiple Sklerose
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 77, 761-776 (1967)

46. Kröncke, A., H.-J. Gülzow und R. Mayer: Gesundheitsgefährdung durch Quecksilber in der zahnärztlichen Praxis
Dtsch. Zahnärztebl. 17, 643 (1963)

47. Kropp, R.: Untersuchungen über den Quecksilberdampfgehalt in der Luft zahnärztlicher Praxen
Zahnärztl. Mitt. 53, 849-850 (1963)

48. Kropp, R.: Untersuchungen über den Quecksilberdampfgehalt in der Luft zahnärztlicher Praxen
Zahnärztl. Mitt. 54, 1110-1111 (1964)

49. Kühl, W.: Quecksilberabgabe und Randdichtigkeit von Amalgamfüllungen
Med. Habil. Würzburg 1963

50. Kühl, W.: Die Quecksilberdampfabgabe von Amalgamfüllungen
Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 496-498 (1966)

51. Loebich, O.: Moderne zahntechnische Werkstoffe
Dtsch. zahnärztl. Z. 4, 859-860 (1949)

52. Loebich, O.: Unter welchen Umständen können Metalle im Munde schädlich sein
Zahnärztl. Mitt. 43, 182 (1955)

53. Lewinski, J.: Ein Todesurteil über das Kupferamalgam
Zahnärztl. Rdsch. 32, 517 (1926)

54. Maumayr, A.: Über Ausscheidung von Quecksilber bei Kupferamalgamfüllungen
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 36, 633 (1926)

55. Mayer, E.J.: Untersuchung von Amalgam auf Abgabe von metallischem Quecksilber
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 45, 219-222 (1927)

56. Mayer, R.: Persönliche Mitteilung

57. Merk, H.J.: Über die Wirksamkeit einer Dublierung mit Metallpulver bei Amalgamfüllungen
Med. Diss. Tübingen 1960

58. Merk, H.J.: Beitrag zur Problematik des Randspaltes bei Amalgamfüllungen
Dtsch. Zahnärztebl. 16, 362 (1962)

59. Mockel, F.: Vergiftungserscheinungen durch Kupferamalgam
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 424-427 (1963)

60. Montigel, Ch.: Kupferamalgam als Füllungsmaterial
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 36, 761-764 (1926)

61. Neumann, R.: Zur Amalgamfrage
Zahnärztl. Rdsch. 37, 1574-1575 (1928)

62. Nord, Ch.F.L.: Amalgamvullingen
T. Tandheelk. 33, Nr. 8/9 (1929)

63. Overdiek, H.F.: Probleme der Milchzahnbehandlung
Zahnärztl. Rdsch. 75, 177-181 (1966)

64. Pilz, W.: Die Therapie der Hartsubstanzdefekte der Milchzähne. Aus Reichenbach, E.: Zähnärztliche Fortbildung, Kinderzahnheilkunde im Vorschulalter 1. Aufl., J.A. Barth, Leipzig (1967) 213-214

65. Plathner, G.: Füllungstherapie im Milchgebiß In: Harndt, E. und Weyers, H. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde im Kindesalter 1. Aufl. Die Quintessenz, Berlin (1967) 235

66. Puschkin, N.A.: Über die Legierungen des Quecksilbers Z. angew. Chem. 36, 240-241 (1903)

67. Raap, K.H.: Erfahrungsbericht über das Kupferamalgam Cupro-Muc Dtsch. Zahnärztebl. 8, 691-692 (1954)

68. Rebel, H.H.: Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde 2. Aufl.,Carl-Hanser, München (1947) 133-135, 145

69. Riethe, P.: Amalgamfüllung Anno Domini 1528 Dtsch. zahnärztl. Z. 21, 301-307 (1966)

70. Ritter, P.: "Gefahren" der Amalgamfüllungen Zahnärztl. Rdsch. 35, 415-416 (1926)

71. Ritter, P.: Die Giftigkeit des Kupferamalgams Med. Welt 51, 357 (1930)

72. Roese, L.: Über Kupferamalgam
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 27, 282-289 (1909)

73. Schach, H.: Biologische Probleme zur Amalgamfrage
Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 45, 112-129 (1965)

74. Schach, H.: Biologische Probleme zur Amalgamfrage
Aus Schug-Kösters u.a.
Karies und Füllungsmethoden
1. Aufl., E. Banaschewski, München-Gräfelfing (1964) 82-85

75. Schmidt, W.: Die Quecksilberdampfdrucke zahnärztlicher Amalgame
Med. Diss. Tübingen 1956

76. Schönbeck, F.: Amalgamfüllung und Quecksilbervergiftung
Dtsch. Mschr. Zahnheilk. 45, 445-446 (1927)

77. Schönbeck, F.: Zur Amalgamfrage
Dtsch. zahnärztl. Wschr. 31, 151 (1928)

78. Schönbeck, F.: Zahnärztl. Werkstoffkunde
3. Aufl., J.A. Barth, Leipzig (1942) 303-304

79. Sounder, W. und W.T. Sweeny: Is Mercury Poisonous in Dental Amalgam Restorations
Dent. Cosmos 73, 1145-1152 (1931)

80. Srbova, J. und J. Herlesova: Kontrola rtuti v moci pri aplikaci CuHg do kavit v detschkych zubech (Die Kontrolle des Quecksilbers im Harn nach Applikation von Kupferamalgam in die Kavitäten kindlicher Zähne) Csl Stomat. 188 (1959) Referat nach Eschler, J.: Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilk. 36, 71 (1961)

81. Stock, A.: Die Gefährlichkeit des Quecksilbers und der Amalgame Z. angew. Chem. 39, 461-466, 790-791, 984-989 (1926)

82. Stock, A.: Die Gefährlichkeit der Quecksilberdämpfe und der Amalgame Med. Klin. 22, 1209 und 1250 (1926)

83. Stock, A.: Die Gefährlichkeit der Quecksilberdämpfe und der Amalgame in Zahnfüllungen Med. Klin. 24, 1114, 1154 (1928)

84. Stock, A.: Die chronische Quecksilber- und Amalgamvergiftung Zahnärztl. Rdsch. 48, 371-378, 403-407 (1939)

85. Tholuk, H.J.: Die Behandlung der Milchzähne 2. Aufl., Hermann Meusser (1931) 98

86. Uschatz, J.: Geben Amalgame Quecksilber ab
Med. Diss. Bern 1952

87. Völker, J.: Vorbeugung gegen Amalgam-Quecksilbervergiftung beim Zahnarzt und seinen Patienten
Zahnärztl. Rdsch. 37, 1299-1304 (1928)

88. Vogel, R.: Die Metallurgie der Kupferamalgame
Zahnärztl. Prax. 6, 9 (1955)

89. Walkhoff, O. und W. Hess: Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde
6. Aufl., J.A. Barth, Leipzig (1960) 108

90. Wannenmacher, E.: Zahnerhaltungskunde, VI Füllungstherapie der Karies
Aus: Hofer, O., E. Reichenbach, Th. Spreter v. Kreudenstein und E. Wannenmacher:
Lehrbuch der klinischen Zahnheilkunde
2. Aufl., J.A. Barth, Leipzig (1963) 179-181

91. Werkentin, A.: Kupferamalgam über Bord
Zahnärztl. Rdsch. 35, 451-452 (1926)

92. Wild, W.: Amalgamfüllung und chronische Quecksilbervergiftung
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 36, 740-760 (1926)

93. Withkowska, J. und W. Kalinowska: Eigene Erfahrungen bei der Füllung kariöser Defekte mit Kupferamalgam Csas. Stomat. 10, 677 (1967)

94. Witzel, A.: Das Füllen der Zähne mit Amalgam 1. Aufl. Berliner Verlagsanstalt, Berlin (1899) 197-233

95. Wood, R.W.: Researches in Physikal Optics, Part II Columbia University Press, New York 1919

96. MAK-Werte 1963 Maximale Arbeitsplatzkonzentration gesundheitsschädlicher Stoffe Arbeitsschutz 9, 1963 Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung, Bonn (1963)

Zum Schluß der Arbeit möchte ich Herrn Professor Dr. Dr. P. Riethe für die rasche Durchsicht des Manuskriptes, sowie für die Übernahme der Berichterstattung danken.

Ganz besonderen Dank darf ich Herrn Akad. Rat Dr. R. Mayer für die Überlassung des Themas, die vielseitige Unterstützung während der Arbeit und die rasche Korrektur des Manuskriptes aussprechen.

Dem Institutsmechaniker, Herrn Baur, danke ich für die Hilfe bei der Herstellung der technischen Hilfsmittel.

LEBENSLAUF

Am 19. Juli 1944 wurde ich, Friedrich Ernst Jenatschke als Sohn des Reg. Angest. Ernst Jenatschke und seiner Ehefrau Friedl, geb. Kratochvil, in Leitmeritz/Sud. geboren.

Nach unserer Vertreibung im Jahre 1945 siedelten sich meine Eltern 1946 in Wettelsheim (Bayern) an, wo ich 1950 in die Grundschule eintrat. 1952 übersiedelten wir nach Metzingen/Württ. Am hiesigen Gymnasium legte ich 1963 die Reifeprüfung ab.

Im Sommersemester 1963 begann ich an der Universität Tübingen das Studium der Zahnheilkunde. Hier bestand ich im Oktober 1965 die zahnärztliche Vorprüfung und im Juli 1968 die zahnärztliche Prüfung und erhielt die Bestallung als Zahnarzt.

Seit dem 1. Januar 1969 bin ich an der kieferorthopädischen Abteilung der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten in Tübingen als Assistent tätig und absolviere meine Ausbildung zum Fachzahnarzt für Kieferorthopädie.

BAMBERGER FOTODRUCK-RUDOLF RODENBUSCH
8600 BAMBERG-Markusplatz 22-Telefon: 0951/62794